



REPUBLIKA SLOVENIJA
MINISTRSTVO ZA OKOLJE IN PROSTOR
AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE



Potresi v letu 2009

Earthquakes in 2009





AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA

POTRESI V LETU 2009 EARTHQUAKES IN 2009

AGENCIJA REPUBLIKE SLOVENIJE ZA OKOLJE
URAD ZA SEIZMOLOGIJO IN GEOLOGIJO

ENVIRONMENTAL AGENCY OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA
SEISMOLOGY AND GEOLOGY OFFICE

Ljubljana 2010





POTRESI V LETU 2009 EARTHQUAKES IN 2009

IZDAJATELJ IN ZALOŽNIK / PUBLISHED BY

Ministrstvo za okolje in prostor / Ministry of the Environment and Spatial Planning
Agencija RS za okolje (ARSO) / Environmental Agency of the Republic of Slovenia
Urad za seizmologijo in geologijo / Seismology and Geology Office

GENERALNI DIREKTOR AGENCIJE / DIRECTOR GENERAL OF AGENCY

dr. Silvo Žlebir

UREDNIK / EDITOR

dr. Andrej Gosar

RAČUNALNIŠKO OBLIKOVANJE / COMPUTER DESIGN

Peter Sinčič

UREDNIŠKI SVET / EDITORIAL BOARD

dr. Silvo Žlebir
dr. Andrej Gosar
mag. Ina Cević
Matjaž Godec
mag. Tamara Jesenko
Peter Sinčič
dr. Barbara Šket Motnikar
mag. Izidor Tasič
Polona Zupančič
mag. Mladen Živčič

TISK / PRINTED BY

Utrip Brežice d.o.o., Marof 2, Brežice

Mednarodna standardna serijska številka: ISSN 1318 - 4792
--



NASLOVNICA:

Kolaž fotografij poškodb zgradb, ki jih je povzročil potres na območju L'Aquile v Italiji.

Glej članek: Ina Cecić, Matjaž Godec

POTRES PRI L'AQUILI (SREDNJA ITALIJA) 6. APRILA 2009

COVER PAGE:

Collage of photos of damaged buildings that were the cause of earthquake in L'Aquila, Italy.

See: Ina Cecić, Matjaž Godec

L'AQUILA (CENTRAL ITALY) EVENT ON 6 APRIL 2009





KAZALO / CONTENTS

IN MEMORIAM RENATO VIDRIH (1957 – 2010)	7
<i>Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčič, Tatjana Prosen</i> POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2009 SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2009	9
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Igor Pfundner, Bojan Uran, Peter Sinčič, Jože Prosen</i> DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2009 SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA - OPERATION IN 2009.....	20
<i>Jurij Pahor</i> UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ DRŽAVNE MREŽE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2009 SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA IN 2009	28
<i>Izidor Tasič, Marko Mali, Peter Sinčič</i> POSODOBITEV POTRESNE OPAZOVALNICE VNDS MODERNIZATION OF THE SEISMIC STATION VNDS.....	32
<i>Izidor Tasič, Luka Pančur, Igor Pfundner, Marko Mali</i> POVEČANJE LOKALNEGA POMNILNIKA ZA ZAJEMALNE ENOTE Q730 QUANTERRA Q730 LOCAL DATA STORAGE EXTENSION	36
<i>Izidor Tasič</i> PRIMERJALNI TEST INSTRUMENTOV SIDE-BY-SIDE INSTRUMENTAL VERIFICATION	40
<i>Ina Cecič, Tamara Jesenko, Mladen Živčič, Martina Čarman</i> POTRESI V SLOVENIJI LETA 2009 EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2009	49
<i>Martina Čarman, Mladen Živčič, Milka Ložar Stopar</i> POTRESI V BLIŽINI GORENJE VASI JANUARJA IN FEBRUARJA 2009 EARTHQUAKES IN THE GORENJA VAS REGION IN JANUARY AND FEBRUARY 2009	65
<i>Andrej Gosar, Janez Rošer</i> RAZISKAVE KRAJEVNEGA VPLIVA MEHKIH SEDIMENTOV NA POTRESNO NIHANJE TAL NA OBMOČJU LJUBLJANE Z METODO MIKROTREMORJEV STUDY OF THE SITE EFFECTS OF SOFT SEDIMENTS ON SEISMIC GROUND MOTION IN THE LJUBLJANA AREA USING MICROTREMOR METHOD.....	72
<i>Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Branka Mladenović, Andrej Gosar</i> MERITVE POTRESNEGA NEMIRA V STAVBAH LJUBLJANE MICROTREMOR MEASUREMENTS IN LJUBLJANA BUILDINGS.....	86



<i>Polona Zupančič, Barbara Šket Motnikar, Marjana Lutman</i> OCENA POTRESNE ODPORNOSTI IN OGROŽENOSTI STAVB V MESTNI OBČINI LJUBLJANA (MOL) SEISMIC VULNERABILITY AND RISK OF BUILDINGS IN THE MUNICIPALITY OF LJUBLJANA (MOL).....	102
<i>Barbara Šket Motnikar</i> PREVERJANJE KARTE POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE REESTIMATION OF SLOVENIAN SEISMIC HAZARD MAP.....	113
<i>Tamara Jesenko</i> MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2009 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2009.....	128
<i>Ina Cencić, Matjaž Godec</i> POTRES PRI L'AQUILI (SREDNJA ITALIJA) 6. APRILA 2009 L'AQUILA (CENTRAL ITALY) EVENT ON 6 APRIL 2009.....	138
<i>Renato Vidrih</i> 50 LET MODERNE SEIZMOLOGIJE NA SLOVENSKEM 50 YEARS OF MODERN SEISMOLOGY IN SLOVENIA.....	154
<i>Jurij Pahor, Mladen Živčič</i> SREČANJE UPORABNIKOV SISTEMA ZA OBDELAVO SEIZMIČNIH PODATKOV ANTELOPE QUANTERRA AND ANTELOPE USERS GROUP MEETING.....	158
<i>Peter Sinčič</i> MEDNARODNA KONFERENCA O POTRESNEM INŽENIRSTVU INTERNATIONAL CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING.....	165



IN MEMORIAM RENATO VIDRIH (1957 – 2010)

Po kratki, a hudi bolezni, je 13. februarja letos umrl dr. Renato Vidrih, direktor Urada za seizmologijo in geologijo in dolgoletni urednik vsakoletne publikacije Potresi v letu ...

Renato Vidrih je bil rojen 1. februarja 1957 v Postojni. Po diplomi iz geologije na Fakulteti za naravoslovje in tehnologijo ljubljanske univerze se je leta 1980 zaposlil na Seizmološkem zavodu SR Slovenije. Magistriral je s področja seizmotektonike, doktoriral pa s področja seizmogeologije.



Ob svojem rednem poklicu geologa in seizmologa je bil zelo dejaven na področju mineralogije. Že od študentskih let naprej so ga zanimali minerali in vse, kar je z njimi povezano. Le povabilo prof. dr. Vladimira Ribariča k sodelovanju in ponujeno delovno mesto v observatoriju tedanjega Seizmološkega zavoda Slovenije na Golovcu je vplivalo na takratno odločitev, kaj početi v naslednjih desetletjih. Zato je mineralogija ostala postranska, vendar ne nepomembna dejavnost. V 30 letih zbiranja mineralov je postala njegova zbirka, ki obsega prek 3500 registriranih primerkov, ena od največjih sistematskih zbirk v Sloveniji. S področja mineralogije je sam ali s soavtorji napisal več deset poljudnih člankov in nekaj knjig. Tehniška založba Slovenije je leta 1995 izdala knjigo Minerali na Slovenskem, ki sta jo napisala skupaj z dr. Vasjo Mikužem, in je prvo tovrstno delo o mineralnem bogastvu Slovenije. Leta 2002 je kot tematska priloga revije Življenje in tehnika izšla še knjiga z naslovom Svet mineralov, ki predstavlja avtorjevo zbirko in je bila leta 2009 ponatisnjena. Pomagal je pri postavitvi več mineraloških razstav in ureditvi več zbirk po Sloveniji, nekatere so predstavljene tudi v knjižni obliki.

Minerali iz njegove zbirke so pogosto fotografirani za različne fotografske razstave, razne publikacije in knjige, številne članke, nekateri zelo redki pa so objavljeni v Enciklopediji Slovenije in Velikem leksikonu.

Profesionalno je začel leta 1980 delati kot svetovalec za seizmogeologijo, njegova delovna področja so bila poleg obdelave ter študija domačih in tujih potresov še makroseizmične, seizmo-

tektonske ter predvsem seizmogeološke raziskave. Kot svetovalec vlade je nadaljeval delo na nekdanji Upravi RS za geofiziko. Izdelal je številne karte seizmične mikrorajonizacije za različne predele Slovenije. Od leta 2001 je bil direktor Urada za seizmologijo in geologijo pri Agenciji RS za okolje.

Z naštetih področij je ob številnih poročilih, elaboratih, strokovnih mnenjih in recenzijah napisal več kot 300 strokovnih in več kot 150 poljudnih člankov. S prispevki je sodeloval na veliko domačih in mednarodnih strokovnih in znanstvenih konferencah. Bil je tudi avtor, soavtor in urednik več publikacij ter knjig s področja seizmologije in geologije. S področja seizmologije je napisal knjige Potresna dejavnost zgornjega Posočja (2008), Nemirna zemlja (2009) in skupaj z Jožetom Miheličem Albin Belar – pozabljen slovenski naravoslovec, s področja geologije pa je sodeloval pri pripravi publikacij Prirodoslovnega muzeja Slovenije Kaj spreminja svet (2006) in Evolucija zemlje in geološke značilnosti Slovenije (2009). Med drugim je bil član uredniškega odbora revije Življenje in tehnika.

Za odličnost v komuniciranju znanosti je dvakrat prejel priznanje Prometej znanosti, drugič leta 2009 skupaj s soavtorji knjige in razstave v Prirodoslovnem muzeju Slovenije: Evolucija zemlje in geološke značilnosti Slovenije, in Zoisovo priznanje Prirodoslovnega muzeja.

Neizbrisno sled je dr. Renato Vidrih pustil tudi v delu Ministrstva za obrambo, predvsem na Upravi Republike Slovenije za zaščito in reševanje, kot član Štaba Civilne zaščite RS in pisec številnih člankov na temo potresov v reviji Ujma. Za svoje dolgoletno delo na področju zaščite in reševanja je dr. Renato Vidrih lani prejel srebrni znak CZ.

Renato Vidrih je imel v zadnjih letih tudi več samostojnih fotografskih razstav. Prek njih je ljubitelje narave seznanjal z lepotami geološkega sveta doma in po svetu, obenem pa s fotografijami katastrofalnih posledic potresov poskušal prebivalce ozaveščati glede potresne (ne)varnosti.

Z njegovim odhodom je nastala vrzel, ki jo bo težko zapolniti. Težko bo nadomestiti človeka, ki je bil po srcu seizmolog, človeka, ki je vedno govoril, da je za delo na razpolago 24 ur na dan in to 7 dni v tednu. Težko bo nadomestiti človeka, katerega prepričanje je bilo, da so strokovnjaki svoje delo dolžni predstaviti v pisni obliki tako strokovni javnosti, kot v poljudni obliki laični javnosti. Vendar – sodelavci Urada za seizmologijo in geologijo se bomo potrudili, da bomo še naprej na Renatov način opravljali naše poslanstvo na področju seizmologije.

Matjaž Godec in Peter Sinčič

POTRESNE OPAZOVALNICE V SLOVENIJI V LETU 2009

SEISMIC NETWORK IN SLOVENIA IN 2009

Peter Sinčič, Izidor Tasič, Mladen Živčić, Tatjana Prosen

Povzetek

V letu 2009 je na območju Slovenije delovalo 26 digitalnih potresnih opazovalnic, povezanih v omrežje z neprekinjenim prenosom podatkov v središče za obdelavo v Ljubljani, 2 opazovalnici stare mreže, 3časne potresne opazovalnice ter 10 opazovalnic z akcelerometri za opazovanje seizmičnosti na urbanih območjih. Na opazovalnicah na Vojskem in na observatoriju na Golovcu v Ljubljani še vedno delujeta analogna seizmografa z zapisom s črnilom na papir. Na nekaterih potresnih opazovalnicah smo opravili posodobitve opreme.

Abstract

In the year 2009 there are 26 digital seismic stations incorporated in seismic network with real-time continuous data transmission to data centre in Ljubljana. There are also operating two stations of the old network, three temporary stations and 10 stations with accelerometers for monitoring seismic activity on urban areas. There are still running analogue seismographs on VOJS and LJU seismic stations. Upgrades on equipment were made on some seismic stations.

Uvod

Leta 1958 je bil zgrajen observatorij na Golovcu nad Ljubljano in v kleti so namestili obnovljeni dvokomponentni vodoravni seizmograf Wiechert in navpični kratkoperiodni seizmograf Stuttgart z galvanometrijskim optičnim registratorjem z zapisom na fotografski papir, ki je naslednje leto začel z rednim beleženjem potresov. Potresna opazovalnica Ljubljana (LJU) je danes opremljena s kratkoperiodnim seizmografom z vidljivim zapisom ter s širokopasovnimi digitalnimi seizmografi. Leta 1975 je bila zgrajena potresna opazovalnica CEY v Goričicah pri Cerknškem jezeru. Opremljena je bila z analognim trikomponentnim kratkoperiodnim seizmografom, ki mu je bil leta 1997 dodan digitalni širokopasovni seizmograf. Januarja 1985 je na Slovenskem začela delovati tretja potresna opazovalnica VOY, ki smo jo postavili na Vojskem nad Idrijo (Trnkoczy, Vidrih, 1986). V začetku je bila opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z navpično komponento, januarja leta 1991 pa sta bili dodani še vodoravni komponenti. Leta 1986 je bila zgrajena potresna opazovalnica VBY v Bojancih v Beli krajini, ki je bila prav tako opremljena z analognim kratkoperiodnim seizmografom z navpično komponento. Leta 1996 smo ji dodali širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Za opazovanje seizmičnosti Krško - Brežiškega polja je bila leta 1990 postavljena časna potresna opazovalnica KBZ z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Brezju pri Senušah, leta 1996 pa še opazovalnica CESS v Cesti nad Krškim (Sinčič in Vidrih, 1993,1995). Tu je bil na začetku nameščen prenosni širokopasovni digitalni seizmograf s shranjevanjem podatkov na magnetni trak, ki smo ga leta 1997 zamenjali s seizmografom s prenosom podatkov po državnem računalniškem omrežju v SOP. Zaradi možnosti povečanja seizmičnosti ob polnjenju akumulacijskega jezera v sosednji Avstriji je bila leta 1991 postavljena časna potresna opazovalnica BISS z enokomponentnim prenosnim analognim seizmografom v Braniku nad Muto. Leta 1996 je bil zgrajen jašek za senzor in postavljen širokopasovni digitalni seizmograf s prenosom podatkov po klicni telefonski liniji v SOP. Leta 1996 je začela delovati potresna opazovalnica DOBS v Dobrini na Kozjanskem. Opremljena je z enakim digitalnim seizmografom kot v Braniku nad Muto. V okviru projekta modernizacije državnega omrežja potresnih opazovalnic smo leta 2001 v Ljubljani vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov (SOP). V opazovalnice v Ljubljani, Goričicah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe ter začeli z gradnjo novih opazovalnic, najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako

da smo v letu 2002 vključili v omrežje sedem novih potresnih opazovalnic, leta 2003 štiri, naslednje leto tri nove opazovalnice in modernizirani dve stari (Bojanci in Vojsko), v letu 2005 dve novi potresni opazovalnici ter leta 2006 tudi dve novi potresni opazovalnici. V letu 2008 je bila v omrežje vključena po projektu zadnja opazovalnica v Gorenji Brezovici (slika 1).

Analogne potresne opazovalnice

Urad za seizmologijo in geologijo na dveh opazovalnicah še vedno uporablja analogne seizmografe za beleženje potresov (preglednica 1). Analogni seizmograf sestavljajo seizmometer, seizmografski ojačevalnik z ustreznimi filtri in pisar z zapisom s črnilom na navaden papir. Slabost analognih seizmografov je majhno dinamično območje (40 – 45 dB) in občutljivost. Šibkih potresov zaradi majhne občutljivosti ni možno analizirati, močni potresi pa prekrmlijo inštrument in je zapis potresa manj uporaben. Druga, še večja pomanjkljivost je, da pri obdelavi potresov ne moremo uporabljati računalnika, saj danes večji del analiz temelji na računalniški obdelavi. Analogni seizmografi v letu 2009 še vedno delujejo na potresnih opazovalnicah na observatoriju na Golovcu v Ljubljani in na Vojskem.

Preglednica 1. Analogni potresni opazovalnici v Sloveniji v letu 2009.

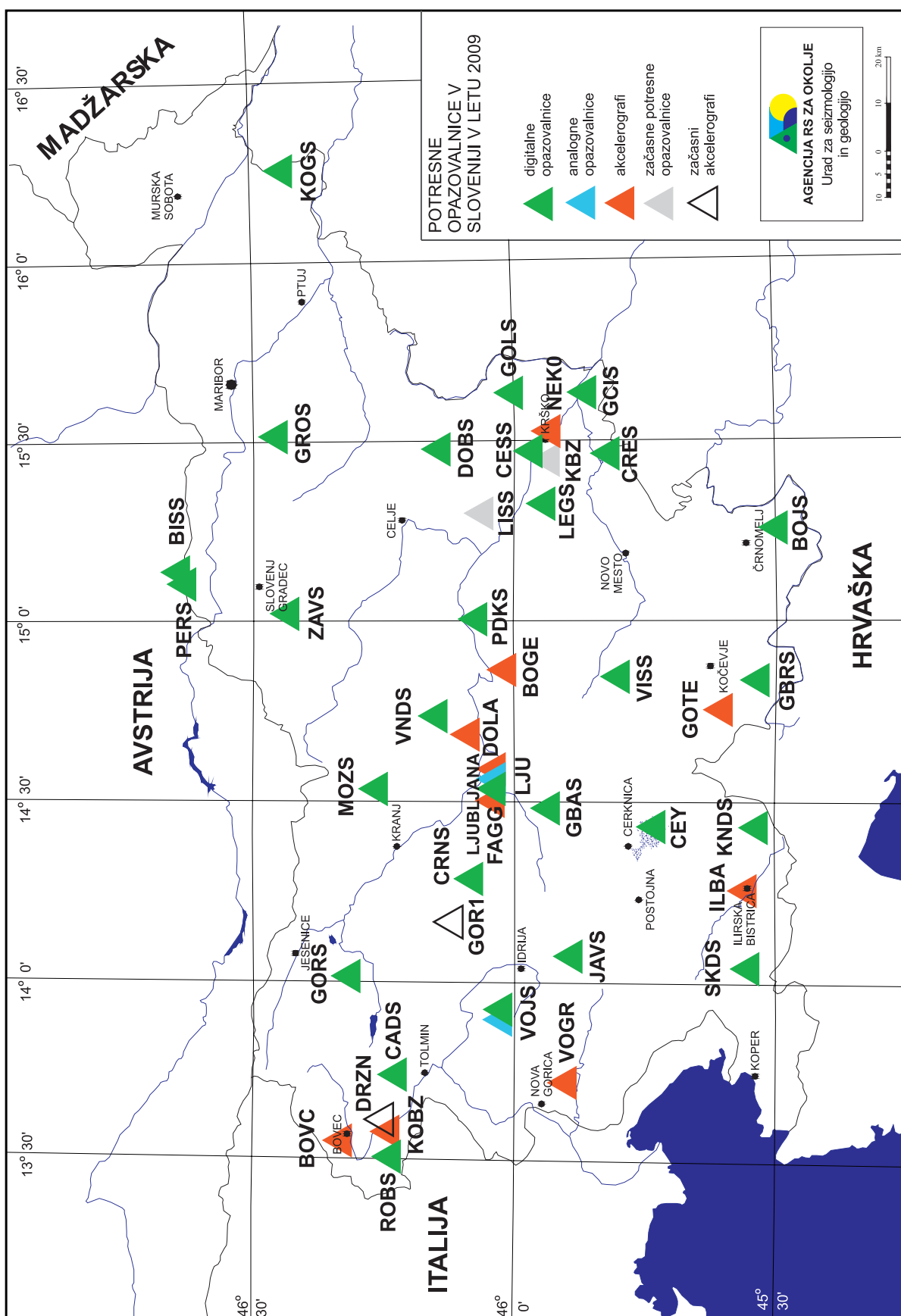
Table 1. Analogue seismic stations in Slovenia in 2009.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dolž. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	pisar recorder	začetek/konec delovanja start/stop time
		°N	°E					
Ljubljana	LJU	46,0438	14,5277	396	karbonski peščenjak sandstone	kratkoperiodni Willmore MKII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-01 pisar/ recorder Günter-Volk (črnilo/ ink)	01. 01. 1974 še deluje/ operating
Vojsko	VOY	46,0316	13,8882	1073	zgoranjtrijski dolomit dolomite	kratkoperiodni shortperiod Willmore MKII 3 komp./comp.	ojačevalnik SO-03 pisar/ recorder VR - 2 (črnilo/ ink)	28. 11. 1984/ še deluje/ operating

Digitalne potresne opazovalnice

Pri digitalnih sistemih je seizmometer analogen instrument, vsa ostala oprema je digitalna. Dinamično območje in občutljivost sta veliko večja kot pri analognih sistemih, in sta v glavnem določena s številom bitov analogno-digitalnega pretvornika. Dinamično območje digitalnih seizmografov je 140 dB in ga lahko dosežemo na dva načina. Danes uporabljamo 24-bitno analogno-digitalno pretvorbo s konstantnim ojačenjem ojačevalnika na vhodu.

V potresni opazovalnici na Golovcu v Ljubljani je začel delovati prvi digitalni instrument SSR-1 podjetja Kinometrics leta 1990. Leta 1996 smo postavili prvo omrežje digitalnih seizmografov podjetja Nanometrics s prenosom podatkov v centralni računalnik, ki delujejo še danes. V začetku so omrežje tvorile štiri opazovalnice: Ljubljana (LJU), Branik nad Muto (BISS), Dobrina (DOBS) in Bojanci (VBY), ki se jim je v naslednjem letu priključila peta v Goričicah ob Cerknjskem jezeru (CEY). Digitalni seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 16-bitni analogno – digitalni pretvornik s tristopenjskim samonastavljivim predojačevalnikom RD 1639 in osebni računalnik s sprejemnikom točnega časa GPS in programsko opremo, ki skrbi za zajem podatkov, lokalno shranjevanje in komunikacijo s centralnim računalnikom. V začetku je komunikacija potekala po klicnih telefonskih linijah, kasneje pa smo seizmografe vključili v državno računalniško omrežje. V drugi polovici leta 1997 smo v omrežje vključili še šesto opazovalnico na Cesti nad Krškim (CESS). Seizmograf sestavljajo trikomponentni širokopasovni seizmometer Güralp CMG-40T, trikanalni 24 – bitni analogno – digitalni pretvornik HRD24-2432 z vgrajenim sprejemnikom točnega časa GPS in modemom za prenos podatkov po najeti telefonski liniji do vozlišča državnega računalniškega omrežja v Kr-



Slika 1. Potresne opazovalnice državne mreže v Sloveniji leta 2009.

Figure 1. Seismic network in Slovenia in 2009.

Preglednica 2. Digitalne potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2009.**Table 2.** Digital seismic stations in Slovenia in 2009.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Ljubljana	LJU	46,04381	14,52776	396	karbonski peščenjaki sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	22. 05. 1996
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	30. 03. 2001
Bojanci	BOJS	45,50435	15,25178	252	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcelometer/ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 02. 2004
Branik nad Muto	BISS	46,64794	15,12703	490	metamorfne kamnine metamorphic rocks	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	28. 08. 1996
Dobrina	DOBS	46,14942	15,46943	427	spodnjetriasni laporji marl	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	29. 09. 2006
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	07. 04. 2001
Cerknica (Goričice)	CEY	45,73814	14,42214	579	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	RD3-1639	14. 01. 1997
						širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 03. 2001
Cesta	CESS	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	HRD24-2432	04. 09. 1997
Goliše	GOLS	46,01074	15,62451	559	masiven dolomit massive dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T BH	Q 730	26. 02. 2002
Črešnjevce	CRES	45,97325	15,46317	372	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2	Q730	07. 03. 2002
Legarje	LEGS	45,94880	15,31771	390	sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	02. 09. 2002
Podkum	PDKS	46,06120	14,99777	679	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40TBH	Q 730	11. 11. 2002
Robič	ROBS	46,24448	13,50944	265	apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	20. 11. 2002
Pernice	PERS	46,63595	15,11666	795	blestnik schist	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG 3ESPC	Q 730	11. 12. 2002
Grobnik	GROS	46,46100	15,50177	930	tonalit tonalite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	12. 12. 2002
Čadrg	CADS	46,22804	13,73685	700	kredni apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	10. 07. 2003
Gornji Cirknik	GCIS	45,86720	15,62750	320	dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	11. 08. 2003
Višnje	VISS	45,80329	14,83929	403	siv apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	14. 08. 2003
Javornik	JAVS	45,89342	14,06433	1100	zgornje triasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	21. 08. 2003
Knežji dol	KNDS	45,52791	14,38056	1024	zgornje jurski apnenec limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	14. 10. 2003
Kog	KOGS	46,44816	16,25028	240	glina clay	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	22. 01. 2004
Gorjuše	GORS	46,31741	13,99991	1048	ploščasti apnenec z roženci platy limestone with chert	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC akcelometer/accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q 730	17. 05. 2004
Vojsko	VOJS	46,03217	13,88774	1073	zgornjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	30. 07. 2004

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	geološka podlaga local geology	seizmometer sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time
		°N	°E					
Zavodnje	ZAVS	46,43393	15,02421	750	granodiorit granodiorite	širokopasovni/ broadband 3 komp./comp. CMG-40T BH	Q 730	07. 09. 2004
Možjanca	MOZS	46,29410	14,44334	660	ploščasti apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q 730	07. 07. 2005
Črni Vrh	CRNS	46,08060	14,26135	689	sp.triasni sivi dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q 730	16. 12. 2005
Vrh pri Dolskem	VNDS	46,10169	14,70143	531	kremenov peščenjak quartz sandstone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp.CMG 3ESPBH	Q 730	18. 01. 2006
Skadanščina	SKDS	45,54647	14,01317	558	ploščati apnenec platy limestone	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. STS-2 akcel./ accelerometer 3-komp./ comp. EpiSensor	Q730	12. 04. 2006
Gornja Briga	GBRS	45,53110	14,1007	610	zgorjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-40T	Q730	13. 04. 2007
Gorenja Brezovica	GBAS	45,93473	14,44229	538	zgorjetriasni dolomit dolomite	širokopasovni/ broadband 3 komp./ comp. CMG-3ESPC	Q730	27. 05. 2008

škem. Seizmografi delujejo tako, da se neprekinjen zapis nihanja Zemlje shranjuje lokalno v krožni pomnilnik na računalniku, programska oprema samodejno zazna dogodke in njihove zapise pošlje v centralni računalnik. Programska oprema v centralnem računalniku združuje dogodke iz opazovalnic in izračuna parametre potresa.

Leta 2001 smo začeli v okviru projekta posodobitve državne mreže potresnih opazovalnic s posodabljanjem starih in z gradnjo novih opazovalnic. Osnovni namen posodobitve je vzpostavitev takega državnega potresnega opazovalnega omrežja, ki bo omogočilo za vse potrese na območju Slovenije obveščanje o osnovnih parametrih z ustrežno natančnostjo in zanesljivostjo v realnem času. V Ljubljani smo vzpostavili novo središče za zajem in analizo podatkov. V opazovalnice v Ljubljani, Goričah, Dobrini in v jedrsko elektrarno v Krškem smo namestili nove digitalne seizmografe. Z gradnjo smo začeli najprej na območju Krškega, nato pa tudi drugod po Sloveniji, tako da smo jih leta 2002 vključili v omrežje sedem: Goliše (GOLS), Črešnjevca (CRES) in Legarje (LEGS) na širšem območju Krškega, Podkum (PDKS) na Dolenjskem, Grobnik (GROS) na Pohorju, Pernice (PERS) na Kobanskem in Robič (ROBS) v zgornjem Posočju (Vidrih in sod, 2002).

V letu 2003 so bile v mrežo potresnih opazovalnic vključene opazovalnice v Čadrgu nad Tolminom (CADS), v Višnjah v Suhi krajini (VISS), v Gornjem Cirkniku na Gorjancih (GCIS), na Knežjen dolu v snežniškem pogorju (KNDS) in na Javorniku nad Črnim vrhom nad Idrijo (JAVS). V letu 2004 smo v neposredni bližini opazovalnic v Bojancih in na Vojskem zgradili novi opazovalnici in vanje namestili novo merilno opremo. Opazovalnici sta dobili tudi novi oznaki: BOJS za Bojance in VOJS za Vojsko. Poleg modernizacije teh dveh opazovalnic so bile po istem projektu zgrajene še tri nove: na Kogu v vzhodnem delu Slovenskih gorc (KOGS), v Gorjušah na Pokljuki (GORS) in v Zavodnjah nad Šaleško dolino (ZAVS). V letu 2005 sta bili dokončani opazovalnici na Možjanci (MOZS) in na Črnem Vrh (CRNS) nad Polhovim Gradcem, v prvi polovici leta 2006 pa še opazovalnici Vrh pri Dolskem (VNDS) in Skadanščina (SKDS). Leta 2007 je bila v omrežje vključena opazovalnica Gornja Briga (GBRS) na Kočevskem in leta 2008 še zadnja opazovalnica Gorenja Brezovica (GBAS) ob vznožju Krma (slika 2).

Na vseh opazovalnicah razen v Robiču, Goričah, Dobrini in Ljubljani je oprema, ki jo sestavljajo senzor, zajemalna enota, komunikacijska oprema za kontinuirani prenos podatkov v središče za obdelavo podatkov (SOP) in brezprekinitveno napajanje, nameščena v dveh jaških. V seizmičnem jašku sta nameščena trikomponentni širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T in zajemalna enota Quanterra Q730. Enota ima na vhodu tri (pri petih opazovalnicah šest) predojačevalnike, neodvisne Delta Sigma 24 bitne analogno-digitalne (A/D) med seboj galvansko

ločene pretvornike, sprejemnik časovnih signalov, lokalni pomnilnik, komunikacijski vmesnik in strojno programsko opremo za nadzor delovanja sistema. Trije podatkovni nizi s frekvencami vzorčenja 200, 20 in 1 vzorec na sekundo se neprekinjeno pošiljajo po podatkovnem omrežju v SOP. V pomožnem jašku je nameščena komunikacijska oprema za vključitev opazovalnice v državno računalniško omrežje, ki jo tvorita usmerjevalnik in modem, 12-voltno baterijsko napajanje s polnilcem in razsmernikom, ki omogoča večurno delovanje potresne opazovalnice ob izpadu omrežne napetosti, ter priključek na omrežno napetost 230 V in priključek na najeto linijo za prenos podatkov. Prenos podatkov v središče za obdelavo (SOP) poteka v realnem času. V zračniku je skrita antena sprejemnika točnega časa GPS.

Na opazovalnicah Legarje, Goliše, Zavodnje (do junija 2009), Podkum in od avgusta 2009 tudi Vrh pri Dolskem je seizmometer nameščen v vrtino. Ker je na seizmometru na opazovalnici v Zavodnjah prišlo do okvare, smo ga nadomestili s senzorjem na prostem površju, ki je postavljen na betonskem stebričku v seizmičnem jašku. Na potresni opazovalnici Robič je vsa oprema nameščena v skalni votlini, v Ljubljani pa v kleti observatorija na Golovcu. Podatki o vseh digitalnih potresnih opazovalnicah v Sloveniji v letu 2009 so zbrani v preglednici 2.

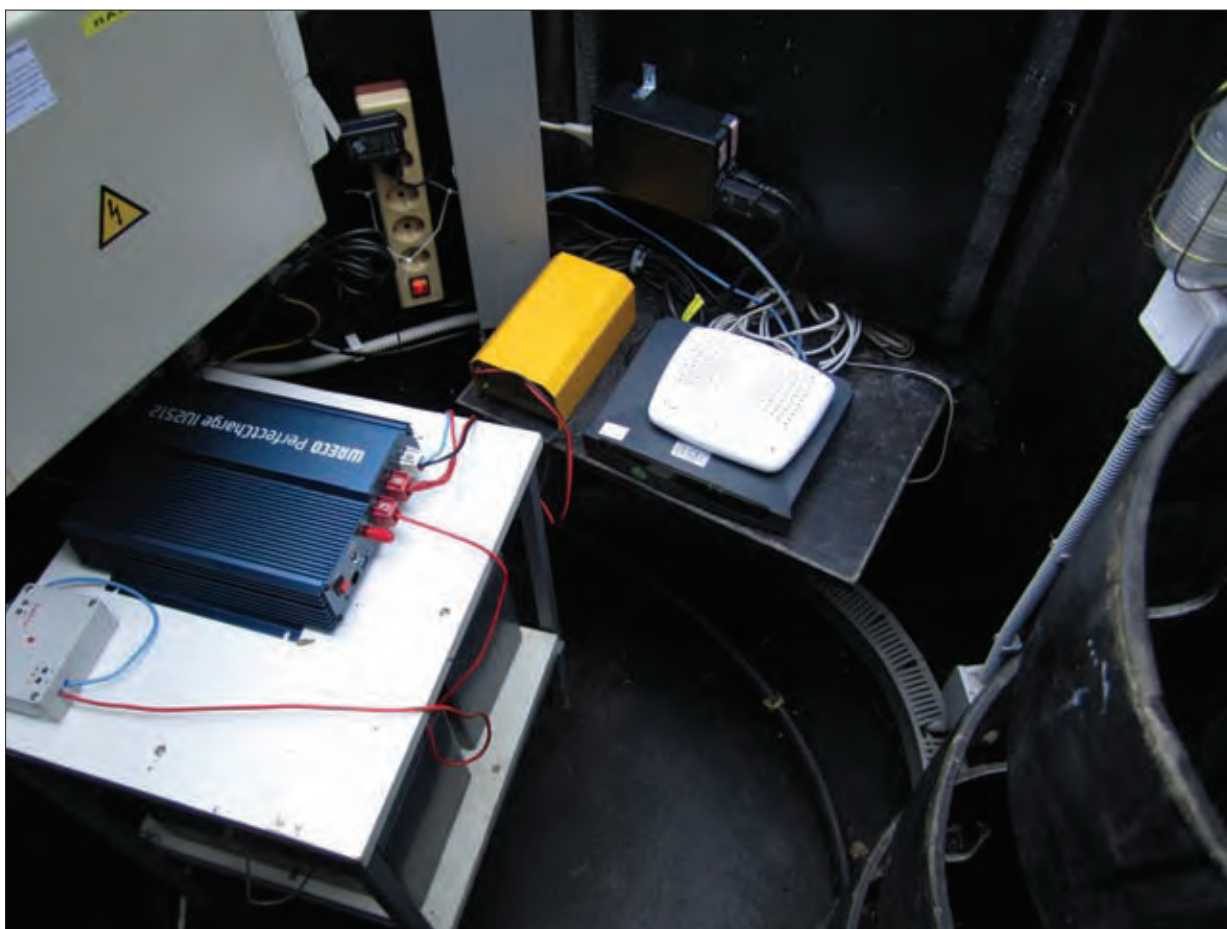
Zaradi prevelike podražitve prenosa podatkov po GSM omrežju smo tekom leta zamenjali vrsto prenosa podatkov z opazovalnic, kjer ni možnosti priklopa na omrežje Telekoma Slovenije. Za potresne opazovalnice Gornja Briga (GBRS), Gornji Cirknik (GCIS), Javornik (JAVS), Knežji dol (KNDS) in Zavodnje (ZAVS) smo za prenos podatkov uporabili satelitsko internetno povezavo. V juniju 2009 smo tudi na opazovalnici GBRS prešli na prenos podatkov po ADSL priključku.

Že nekaj časa poteka prenova omrežja HKOM z nabavo nove komunikacijske opreme, ki podpira VPN/MPLS (Virtual private network/Multiprotocol Label Switching) tehnologijo, omogočila pa bi poenostavitev in večjo standardizacijo omrežja ter znižanje stroškov lastništva in upravljanja. MPLS tehnologija zamenjuje starejši ATM in 'frame relay' tehnologiji zaradi boljše podpore sedanjim in prihodnjim potrebam uporabnikov. Ta tehnologija med drugim omogoča uporabo ADSL priključkov za zanesljiv in varen prenos podatkov po telefonskih linijah in zagotavlja širokopasovno povezavo ob precej nižjih stroških v primerjavi z najetimi linijami. Tako smo v letu 2008 pričeli z nameščanjem nove opreme na potresnih opazovalnicah Bojanci (BOJS), Čadrg (CADS), Črni Vrh (CRNS) Dobrina (DOBS), Gorjuše (GORS), Kog (KOGS), Ljubljana (LJU), Robič (ROBS), Višnje (VISS) in Vojsko (VOJS) in v drugi polovici leta 2009 Gornja Briga (GBRS).

Ker je ta tip komunikacije omejen na dolžino medija oziroma oddaljenosti med potresno opazovalnico in centralo Telekoma bo na potresnih opazovalnicah Bistriški jarek (BISS), Cerknica (CEY), Črešnjevce (CRES) Goliše (GOLS), Grobnik (GROS), Legarje (LEGS), Možjanca (MOZS), Podkum (PDKS), Pernice (PERS), Skadanščina (SKDS) in Vrh pri Dolskem (VNDS), ki so preveč oddaljene od centrale, ostal prenos podatkov po najetih linijah.

Komunikacijski protokol omogoča uporabniku nastavitve prioritete pri pošiljanju podatkov, na primer samo prenos posameznih dogodkov z manjšo frekvenco vzorčenja ali neprekinjen prenos zajemanega kanala. Tako tudi ob krajši prekinitvi prenosnih linij ne ostanemo brez podatkov. Komunikacija lahko poteka asinhrono preko serijskih vrat ali s TCP/IP protokolom preko vgrajene Ethernet kartice. Komunikacija je dvosmerna, tako da lahko iz osrednjega računalnika daljinsko nastavljamo parametre zajemalnega sistema in kalibriramo seizmometer. Ura v zajemalnem sistemu je usklajena z GPS sistemom točnega časa, njena napaka pa je manjša od 1 ms.

Razvoj računalniških komunikacij je v zadnjem času omogočil tudi nastanek tako imenovanih virtualnih mrež potresnih opazovalnic. Samo opazovalnico in na njej nameščeno opremo vzdržuje lokalna institucija, vendar so podatki dosegljivi vsem zainteresiranim, tudi iz drugih delov sveta. Tako v Sloveniji v SOP podatke slovenske državne mreže integriramo s podatki nekaterih opazovalnic iz sosednjih držav (Avstrije, Hrvaške, Italije in Madžarske). Na ta način povečamo območje bolj natančnega določanja žariščnih parametrov ter se lažje izognemo izpadu in nasičenosti zapisov v primeru močnega potresa. Za spremljanje potresne aktivnosti v širši regiji v realnem času pridobivamo podatke iz še nekaterih držav osrednje in jugovzhodne Evrope. Seveda so



Slika 2. Nov napajalnik z dvema akumulatorjema nameščen na potresni opazovalnici Višnje (VISS) (foto: I. Tasič).

Figure 2. New power supply with two accumulators installed on seismic station Višnje (VISS) (Photo: I. Tasič)

tudi naši podatki na voljo vsem zainteresiranim institucijam v tujini. Prednosti virtualnih mrež so predvsem v tem, da so opazovalnice in oprema vzdrževane lokalno, podatki pa dostopni globalno. Upravljalcem virtualnih mrež je na voljo možnost, da za določen namen od vseh ponujenih zapisov v svojo konfiguracijo vključijo le tiste najbolj primerne (Živčič in sod., 2005, Živčič, 2006).

V letu 2009 smo nadaljevali z zamenjavo težkih železnih pokrovov jaškov z lažjimi iz aluminija. Z novo konstrukcijo pokrovov iz aluminija smo dvignili nivo jaškov nad zemljišče in z boljšim tesnjenjem preprečili dostop živalim.

Poleg izboljšav objektov smo začeli tudi z nadgradnjo seizmometrov (Tasič in Mali, 2009). Model CMG-40T je proizvajalec Güralp nadgradil v širokopasovni seizmometer CMG-3ESPC s hitrostrnim odzivom v območju period od 0,2 s do 120 s. Nove seizmometre smo namestili na potresnih opazovalnicah z nižjim seizmičnim šumom v dolgovalovnem območju seizmičnih valov (preglednica 2). Leta 2009 smo seizmometre CMG-40T zamenjali na opazovalnici PERS z CMG-3 ESPC, na VNDS s seizmometrom CMG-3 ESPBH in na opazovalnici CRES s seizmometrom STS-2.

Nadaljevali smo z zamenjavo brezprekinitvenega napajanja z izvedbo z dvema akumulatorjema s kapaciteto 90Ah in 25-amperskim napajalnim sistemom z ločenim polnjenjem vsakega akumulatorja in s pasivnim nizkim filtrom v napajalni veji seizmometra (Mali in sod., 2008). Nove napajalnike smo namestili na opazovalnicah BOJS, CEY, CRES, GBAS, GBRS, GROS, LEGS, PERS, SKDS in VNDS.

Na potresnih opazovalnicah LJU, CEY in CESS smo namestili dodatno pomnilniško enoto, ki je zasnovana na industrijskem računalniku JetBox 8100 in preprečuje izgubo podatkov v primeru daljše prekinitve prenosnih poti.



Slika 3. Dodatna pomnilniška enota, osnovana na industrijskem računalniku JetBox-8100, nameščena na potresni opazovalnici Cesta (CESS) (foto: I. Tasič)

Figure 3. Expanded memory, based on the JetBox – 8100 industrial computer was added to the seismograph on the seismic station Cesta (CESS) (Photo: I. Tasič).

Začasne potresne opazovalnice

Preglednica 3. Začasne potresne opazovalnice in akcelerografi v letu 2009.

Table 3. Temporary seismic stations and accelerographs in 2009.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor ensor type	zajemalna naprava acquisition unit	začetek delovanja start time	konec delovanja stop time
		°N	°E					
Brezje pri Senušah	KBZ	45,9334	15,4334	208	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	PR6	14. 03. 2005	konec 2009 še deluje end of 2009 operational
Lisca	LISS	46,0673	15,2906	948	3-komp. širokopasovni 3-comp. broadband CMG 40T	Q 730	07. 02. 2002	konec 2009 še deluje end of 2009 operational
Gorenja vas	GOR1				FBA-23	Etna	26.02. 2009	10.03.2009

Že več let imamo začasno postavljene instrumente v Brezjah pri Senušah in v meteorološki postaji na Lisici. Čeprav instrumenti na omenjenih lokacijah delujejo že vrsto let, uporabljamo termin začasno, ker same lokacije niso najbolj primerne za spremljanje potresne dejavnosti zaradi nemira, ki ga povzročajo ljudje. V letu 2009 smo začasno postavili instrument v Gorenji vasi zaradi vrste šibkih potresov na območju vasi. Začasna potresna opazovalnica je delovala od 26.

februarja do 10. marca 2009. Namenjena je bila beleženju popotresnih sunkov po potresu dne 26. februarja ob 7.21 UTC. Inštrument je bil postavljen v kleti Osnovne šole Ivana Tavčarja v Gorenji vasi. V času delovanja opazovalnice je inštrument zabeležil štiri popotresne sunke. Zadnji in hkrati najmočnejši od njih je bil zabeležen 28. februarja ob 15.51 UTC.

Opazovalnice za beleženje močnih potresov

V letu 2009 je v okviru mreže potresnih opazovalnic za beleženje močnih potresov skupno delovalo petnajst opazovalnic. Od tega je bilo enajst opazovalnic opremljenih z inštrumenti Etna, štiri pa so delovale v okviru državne mreže potresnih opazovalnic.

Leta 2009 je neprekinjeno delovalo osem opazovalnic opremljenih z inštrumenti Etna; Bogenšperk, Bovec, Drežnica, Gotenica, Ilirska Bistrica, Kobarid, Krško in Vogršček. Postavljene so bile na istih krajih kot prejšnje leto (Sinčič in sod., 2008).

Opazovalnica v Gorenji vasi je bila postavljena začasno za beleženje popotresnih sunkov. Na opazovalnicah v Dolskem in v Ljubljani ob Fakulteti za gradbeništvo in geodezijo (FGG) pa sta bila inštrumenta SSA-2 zamenjana z inštrumentoma Etna. Podatki o času delovanja posameznih opazovalnic, njihovih oznakah, serijskih številkah in številu zabeleženih potresov so zbrani v preglednici 4.

Nova inštrumenta v Dolskem in Ljubljani ob FGG sta bila postavljena na istih mestih kot prejšnja inštrumenta SSA-2. Podrobnosti o lokacijah opazovalnic v Dolskem in Ljubljani poleg FGG so opisane v prispevku Prosen in sod., 2003. Zamenjava je bila opravljena, saj prejšnja inštrumenta nista bila opremljena s sistemom točnega časa. S to zamenjavo je bila zaključena zamenjava vseh inštrumentov SSA-2 (že prejšnje leto je bil zamenjan inštrument SSA-2 v Ilirski Bistrici) in vsi podatki z opazovalnic za močne potrese so sedaj dostopni po klicnih povezavah.

Skupno so opazovalnice za beleženje močnih potresov opremljene z inštrumenti Etna zabeležile več kot 2000 dogodkov (všteti so tudi funkcijski testi), število potresov zabeleženih na posamezni opazovalnici pa je v preglednici 4 (Prosen, 2006).

V sklopu državne mreže potresnih opazovalnic so delovali še akceleroграфи v Ljubljani, na Gorjušah, Skadanščini in Kogu.

Preglednica 4. Opazovalnice za beleženje močnih potresov v letu 2009.

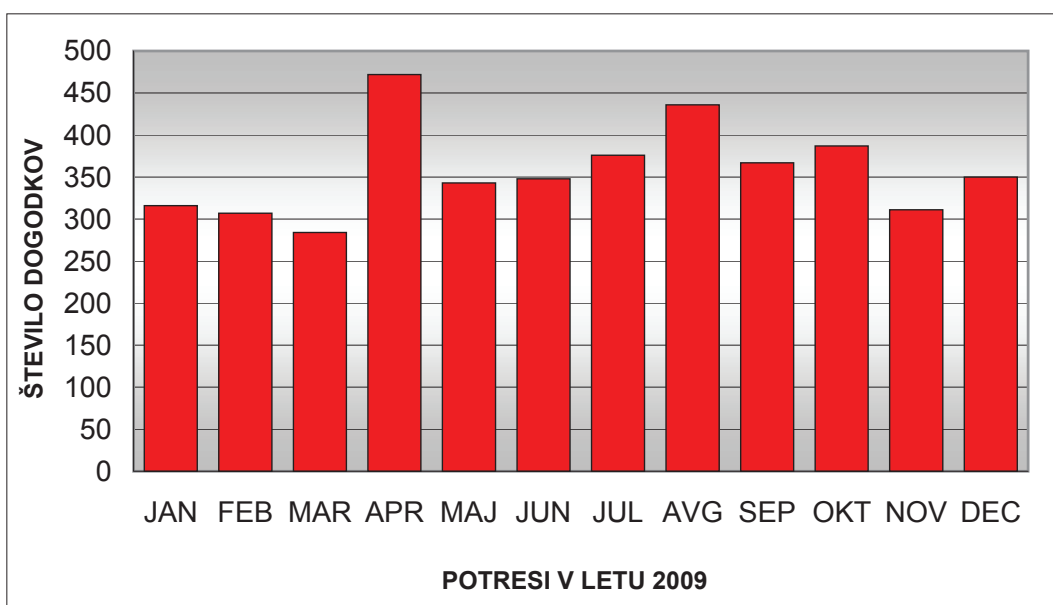
Table 4. Strong motion stations in 2009.

opaz. station	ozn. code	zem. šir. latitude	zem. dol. longitude	n. viš. elev. [m]	senzor sensor type	zajemalna naprava acquisition unit	merilni obseg full scale range	čas delovanja operational time	št. zab. potresov No. of reg. events
		°N	°E						
Bogenšperk	BOGE	46,0237	14,8572	422	FBA-23	Etna	1 g	01.01.-31.12.	3
Bovec	BOVC	46,3382	13,5543	455	FBA-23	Etna	4 g	01.01.-31.12.	1
Dolsko	DOLA	46,0938	14,6781	265	FBA-23	Etna	1 g	18.06.-31.12.	0
Drežnica	DRZN	46,2586	13,6126	544	EpiSensor	Etna	2 g	01.01.-31.12.	7
Gotenica	GOTE	45,6095	14,7464	670	FBA-23	Etna	1 g	01.01.-31.12.	5
Ilirska Bistrica	ILBA	45,5638	14,2445	404	FBA-23	Etna	1g	11.12-31.12	0
Kobarid	KOBZ	46,2450	13,5818	240	EpiSensor	Etna	4 g	01.01.-31.12.	3
Krško (NEK)	NEK0	45,9391	15,5185	156	FBA-23	Etna	2 g	01.01.-31.12.	1
Lju - FGG	FAGG	46,0459	14,4944	295	FBA-23	Etna	1 g	11.06.-31.12.	0
Vogršček	VOGR	45,9057	13,7258	106	EpiSensor	K2	1 g	01.01.-31.12.	4

Preglednica 5. Potresi v letu 2009, zabeleženi na slovenskih potresnih opazovalnicah.

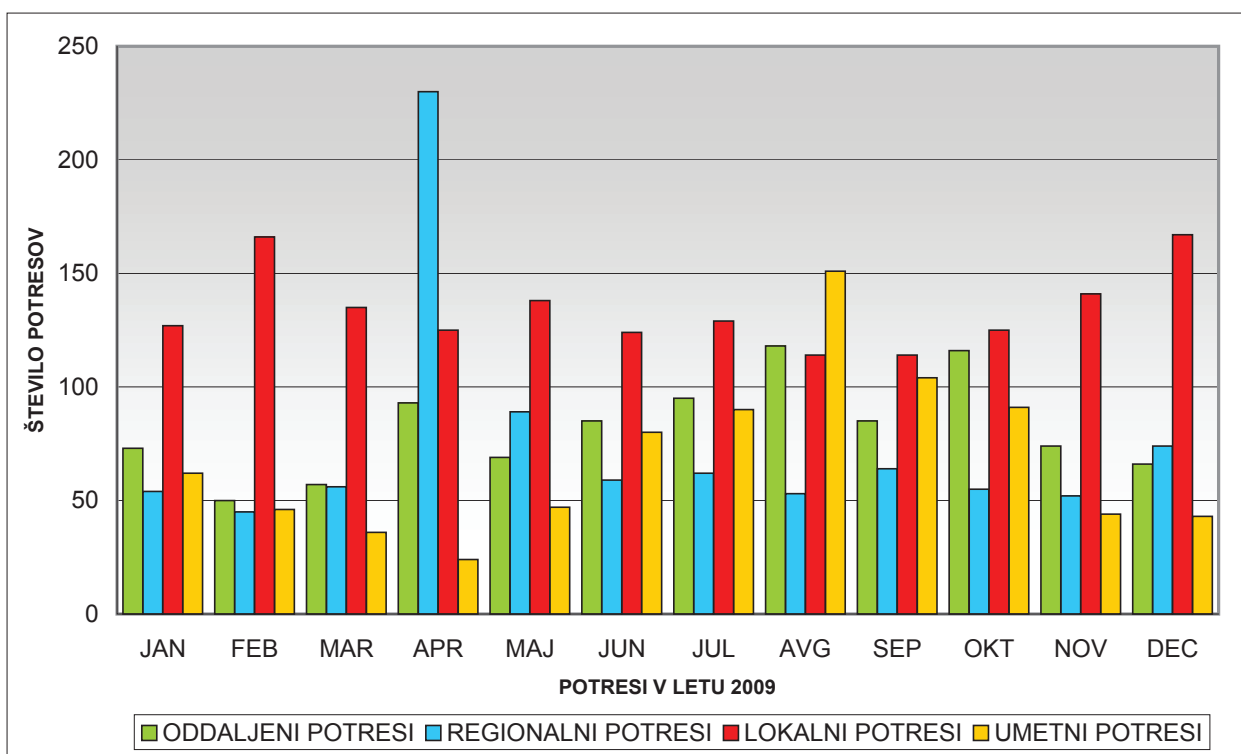
Table 5. Earthquakes in 2009 recorded at Slovenian seismic stations.

mesec	oddaljeni potresi	regionalni potresi	lokalni potresi	umetni potresi	potresi	dogodki
month	distant earthquakes	regional earthquakes	local earthquakes	artificial	earthquakes	events
januar January	73	54	127	62	254	316
februar February	50	45	166	46	261	307
marec March	57	56	135	36	248	284
april April	93	230	125	24	448	472
maj May	69	89	138	47	296	343
junij June	85	59	124	80	268	348
julij July	95	62	129	90	286	376
avgust August	118	53	114	151	285	436
september September	85	64	114	104	263	367
oktober October	116	55	125	91	296	387
november November	74	52	141	44	267	311
december December	66	74	167	43	307	350
skupaj Total	981	893	1605	818	3479	4297
legenda Legend	Oddaljeni potresi / Distant earthquakes Regionalni potresi / Regional earthquakes Lokalni potresi / Local earthquakes		$\Delta > 10^\circ$ (> 1.100 km) $1,5^\circ < \Delta < 10^\circ$ (< 1.100 km) $\Delta \leq 1,5^\circ$ (≤ 160 km)			



Slika 4. Skupno število potresnih dogodkov po mesecih.

Figure 4. Distribution of all seismic events by months.



Slika 5. Število naravnih in umetnih potresov po mesecih.

Figure 5. Monthly distribution of earthquakes and artificials.

Potresne opazovalnice so v letu 2009 zabeležile 3479 potresov (sliki 4 in 5), od tega 1605 lokalnih potresov, 893 regionalnih in 981 oddaljenih. Seizmografi so zapisali tudi 818 umetnih potresov (preglednica 5).

Literatura

- Mali, M., Tasič, I., Pančur, L., 2008. Vpliv brezprekinitvenega napajanja na delovanje potresne opazovalnice. Potresi v letu 2007 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 54-59.
- Prosen, T., 2006. Akcelerografi slovenske mreže potresnih opazovalnic. Potresi v letu 2004 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 185-188.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1993. Mreža potresnih opazovalnic v Sloveniji. Ujma 7, 130-137, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., 1995. Gradnja potresne opazovalnice. Ujma 9, 185-189, Ljubljana.
- Sinčič, P., Vidrih, R., Tasič, I., Živčič, M., Mladenovič, B., 2008. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2008. Potresi v letu 2008 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 1-13.
- Tasič, I., Mali, M., 2009. Seizmometer CMG-3ESPC. Potresi v letu 2008 (ur. R. Vidrih), ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 38-42.
- Trnkoczy, A., Vidrih, R., 1986. Seizmološka stanica Vojsko (VOY) u SR Sloveniji. Acta seismologica Iugoslavica 12, 17-34, Beograd.
- Vidrih, R., Gosar, A., Sinčič, P., 2002. Omrežje potresnih opazovalnic okoli jedrske elektrarne Krško. Življenje in tehnika, letnik 53/11, 59-67, Ljubljana.
- Živčič, M., Kobal, M., Kolar, J., Pahor, J., 2005. Performance of the New Seismic Network of the Republic of Slovenia – First Results, NATO Advanced Research Workshop: Earthquake Monitoring and Seismic Hazard Mitigation in Balkan Countries, Borovetz, Bulgaria, 11-17 September 2005.
- Živčič, M., Bragato P.L., Costa, G., Horn, N., 2006. Seismic Network of the Republic of Slovenia and Transnational Seismological Networks in the South-eastern Alps, Gulf Seismic Forum 2006, Muscat, Oman, 19-22 February 2006.

DELOVANJE POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2009

SEISMIC NETWORK OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA - OPERATION IN 2009

Izidor Tasič, Marko Mali, Luka Pančur, Igor Pfundner, Bojan Uran, Peter Sinčič,
Jože Prosen

Povzetek

Podani so rezultati analize delovanja državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2009. Zanimalo nas je število prekinitev v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico (izpad) glede na njihovo trajanje, predvsem število tistih izpadov, ki so trajali več kot 2 uri, saj v takem primeru že lahko pride do izgube podatkov. Za najdaljše izpade posamezne potresne opazovalnice smo podali tudi njihove vzroke. Izračunali smo skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem časovnem intervalu ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. V prispevku poleg rezultatov analize delovanja posamezne potresne opazovalnice podajamo tudi časovne intervale, znotraj katerih ni delovalo po več potresnih opazovalnic hkrati in tudi razloge za omenjeno nedelovanje. Zavedati se moramo, da je za analizo parametrov potresa veliko bolj kritično, če v istem časovnem oknu ne deluje večje število potresnih opazovalnic, kot če jih dlje časa ne deluje manjše število. Rezultati analize delovanja potresnih opazovalnic podajajo smer razvoja in možnih posodobitev le teh, kar prispeva k boljšemu in zanesljivejšemu delovanju državne mreže potresnih opazovalnic.

Abstract

The results of analysis of operation for Seismic Network of the Republic of Slovenia (SNRS) in 2009 are presented. A software program, capable of producing the results of analysis of operation based on the status data for particular seismic station and the whole seismic network was developed. We were especially interested in the number and lengths of out-of-operation periods (particularly the ones longer than two hours – possible loss of seismic data) for any seismic station. The number of fixed length out-of-operation periods for particular seismic station and the sum of out-of-operation period in each month of operation for every seismic station were calculated and the analysis of causes for the longest out-of-operation periods for particular seismic station was made. Some parameters illustrating the functioning of the whole seismic network are presented. Time intervals when more seismic stations were not functioning simultaneously are calculated and presented. Several improvements are made every year based on the results of the analysis, contributing to better and more reliable operation of SNRS.

Uvod

Posamezna potresna opazovalnica državne mreže potresnih opazovalnic je opremljena z zajedalno enoto Quanterra 730 (Q730) ter s seizmometri različnega tipa, kot so Guralp CMG 40T, Guralp CMG 40TBH, Guralp CMG 3ESPC, Guralp CMG 3ESPBH in STS-2. Enota Q730 skrbi za zajem seizmičnih podatkov iz seizmometra, pretvorbo le-teh v digitalno obliko in opremljanje podatkov z natančnim časom preko sistema GPS. Po pripravi podatkov zajedalna enota podatke pošlje v središče za obdelavo podatkov (SOP) v Ljubljani. Izmenjava podatkov poteka v stvarnem času. V kolikor pride do izpada komunikacije, Q730 shrani podatke v interni spomin, ki je izveden v obliki krožnega pomnilnika. Če je izpad predolg, se starejši podatki v krožnem pomnilniku nadomestijo z novimi in tako pride do izgube podatkov. Proizvajalci opreme zagotavljajo dve uri (odvisno od kompresije podatkov) dovoljenega izpada komunikacij. V kolikor je izpad komunikacij daljši, lahko pride do izgube podatkov. Q730 v statusno datoteko zabeleži vsako spremembo v zvezi z delovanjem sistema (prekinitev oziroma vzpostavitev komunikacije, spremembe podatkov v zvezi z GPS-om ...). V primeru daljšega izpada komunikacij, oziroma če pride do izpada napajanja na Q730, so te statusne datoteke izgubljene. Izgubljene podatke o delovanju sistema nadomestimo s podatki, ki jih dobimo s stalnim preverjanjem komunikacije posamezne potresne opazovalnice iz SOP.

Preglednica 1. Skupni podatki o številu izpadov in njihovem trajanju za vse potresne opazovalnice državne mreže v letu 2009

Table 1. Overview of the out-of-operation periods (OOOP) for particular seismic station in 2009.

oznaka opazovalnice	število vseh izpadov	trajanje vseh izpadov [min]	število izpadov daljših od 2h	trajanje izpadov daljših od 2h [min]
station code	number of OOOP	duration of OOOP [min]	number of OOOP > 2h	number of OOOP > 2h + conditionally [min]
BOJS	464	2460	2	895
CADS	215	4190	3	3428
CEY	317	13370	3	11372
CRES	113	8394	2	7780
CRNS	169	535	0	0
DOBS	214	954	1	191
GBAS	214	1462	2	514
GBRS	483	5417	7	3712
GCIS	152	4545	2	3651
GOLS	149	6635	2	5489
GORS	509	5306	5	3550
GROS	403	25713	2	24577
JAVS	215	5129	11	3773
KNDS	223	2822	4	1699
KOGS	162	10532	3	9736
LEGS	374	7027	5	5454
LJU	68	195	0	0
MOZS	810	2487	2	418
PDKS	134	541	0	0
PERS	295	62553	15	61288
ROBS	215	4020	2	3230
SKDS	359	11945	5	10923
VISS	161	6189	2	5747
VNDS	291	2717	3	1780
VOJS	639	3702	7	1113
ZAVS	221	28970	7	27869
skupaj	7569	227810	97	198189

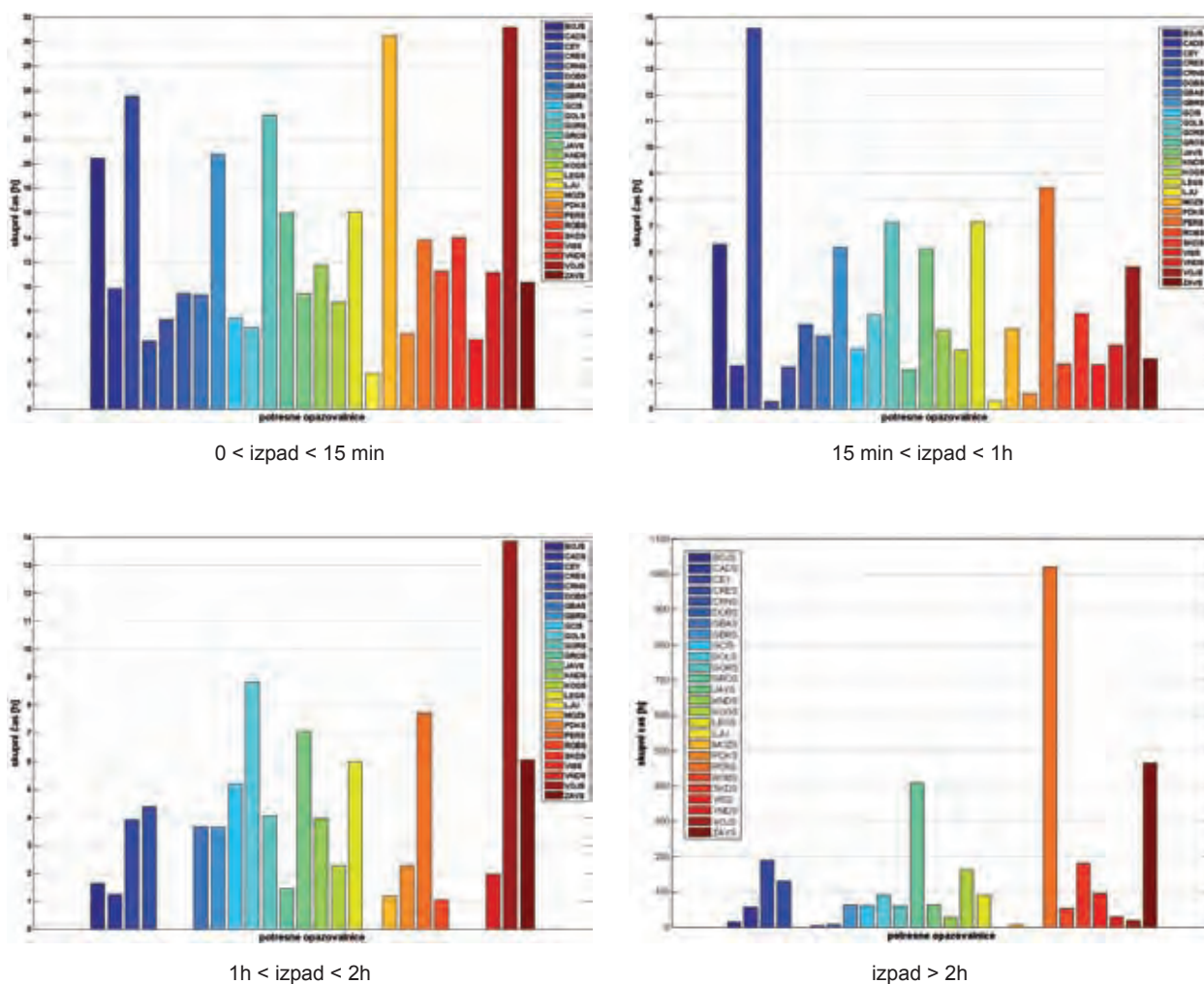
Izpadi potresnih opazovalnic

Analiza je bila narejena na osnovi podatkov iz različnih statusnih datotek (tako imenovane statusne datoteke 'log', 'ping', 'latency' in 'napetost'). Razloge oziroma informacije o daljših izpadih in resnejših okvarah smo črpali iz internih dokumentov, kamor pripravljene instrumentalist redno vpisuje vzroke in podatke o daljših izpadih v času svoje pripravljenosti. Zanimalo nas je število izpadov komunikacije posamezne potresne opazovalnice glede na trajanje izpada (predvsem število tistih izpadov, ki so trajali dlje kot 2 uri). Izračunali smo skupno trajanje izpadov

Preglednica 2. Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje.

Table 2. Overview and the causes of the longest out-of-operation periods (OOOP) for particular seismic station.

oznaka opazovalnice	število izpadov	najdalj. izpad	trajanje najdaljšega izpada	razlog izpada	število izpadov t>2h	skupno trajanje izpadov t>2h
station code	number of OOOP	date/time of the longest OOOP	duration of the longest OOOP	reason	number of OOOP t > 2h	sum of all OOOP t > 2h
BOJS	464	12. 9. 12:41:59	8h 35m 25s	krajši izpad komunikacij	2	0d 14h 55m 13s
CADS	215	5. 7. 12:24:24	1d 20h 15m 55s	daljši izpad komunikacij - okvara komunikacijske opreme	3	2d 09h 07m 56s
CEY	317	16. 6. 09:53:50	5d 23h 08m 16s	daljši izpad komunikacij - večja dela na komunikacijskih vodih	4	7d 21h 32m 06s
CRES	113	10. 7. 03:24:15	5d 5h 52m 37s	daljši izpad komunikacij - napaka na linijski zaščiti	2	5d 09h 39m 48s
CRNS	169	/	/	izpadov daljših od dveh ur ni bilo	0	0d 00h 00m 00s
DOBS	214	31. 10. 05:27:06	3h 11m 08s	krajši izpad komunikacij	1	3h 11m 08s
GBAS	214	28. 7. 06:25:42	5h 28m 59s	krajši izpad komunikacij	2	0d 08h 33m 59s
GBRS	483	28. 1. 09:05:59	1d 1h 32m 37s*	daljši izpad komunikacij – prekoračitev zakupljenega limita	7	2d 13h 52m 39s
GCIS	152	1 13 20:01:15	1d 13h 51m 43s	izpad napajanja - okvara usmernika	2	2d 12h 51m 38s
GOLS	149	7. 11. 18:25:41	2d 17h 14m 31s	daljši izpad komunikacij – vzdrževalna dela na tel. Vodih	2	3d 19h 29m 00s
GORS	509	6. 3. 10:47:12	22h 44m 28s	daljši izpad komunikacij	7	2d 11h 09m 46s
GROS	403	15. 12. 10:11:05	16d 13h 48m 54s	kraja pokrova seizmičnega jaška – začasna deinstalacija opreme	2	17d 01h 37m 15s
JAVS	215	8. 7. 14:08:51	19h 02m 51s	izpad napajanja - izpad glavne varovalke	11	2d 14h 53m 35s
KNDS	223	30. 8. 15:33:16	17h 30m 43s	izpad napajanja - izpad FID stikala	4	1d 04h 19m 08s
KOGS	162	3. 10. 17:24:23	4d 15h 35m 33s	izpad napajanja - slab kontakt napajalnega kabla za komunikacijsko opremo	3	6d 18h 16m 16s
LEGS	374	28. 3. 09:41:05	3d 0h 35m 42s	izpad napajanja - napaka v delovanju napajalnika	5	3d 18h 54m 19s
LJU	68	/	/	izpadov daljših od dveh ur ni bilo	0	0d 00h 00m 00s
MOZS	810	14. 9. 10:10:43	4h 38m 13s	krajši izpad komunikacij	2	0d 06h 58m 20s
PDKS	134	/	/	izpadov daljših od dveh ur ni bilo	0	0d 00h 00m 00s
PERS	295	22. 5. 15:51:41	9d 17h 17m 35s	daljši izpad komunikacije - napaka na komunikacijskih vodih	16	42d 13h 28m 15s
ROBS	215	20. 1. 09:08:57	1d 23h 23m 55s	daljši izpad komunikacije - problemi s komunikacijsko opremo	2	2d 05h 50m 14s
SKDS	359	10. 4. 09:20:48	4d 0h 30m 48s	izpad napajanja - izpad? FID stikala	5	7d 14h 02m 48s
VISS	161	25. 7. 08:19:04	3d 0h 26m 46s	daljši izpad komunikacije - napaka na ADSL modemu	2	3d 23h 46m 36s
VNDS	291	15. 9. 09:17:59	22h 38m 49s	daljši izpad komunikacije	3	1d 05h 40m 11s
VOJS	639	15. 4. 09:12:20	3h 23m 56s	ugotavljanje možnega izvora ujetih vodoravnih komponent – začasen izklop naprav	7	0d 18h 32m 51s
ZAVS	221	8. 7. 00:49:14	15d 9h 00m 22s	daljši izpad komunikacije - napaka na modemu	7	19d 08h 28m 44s



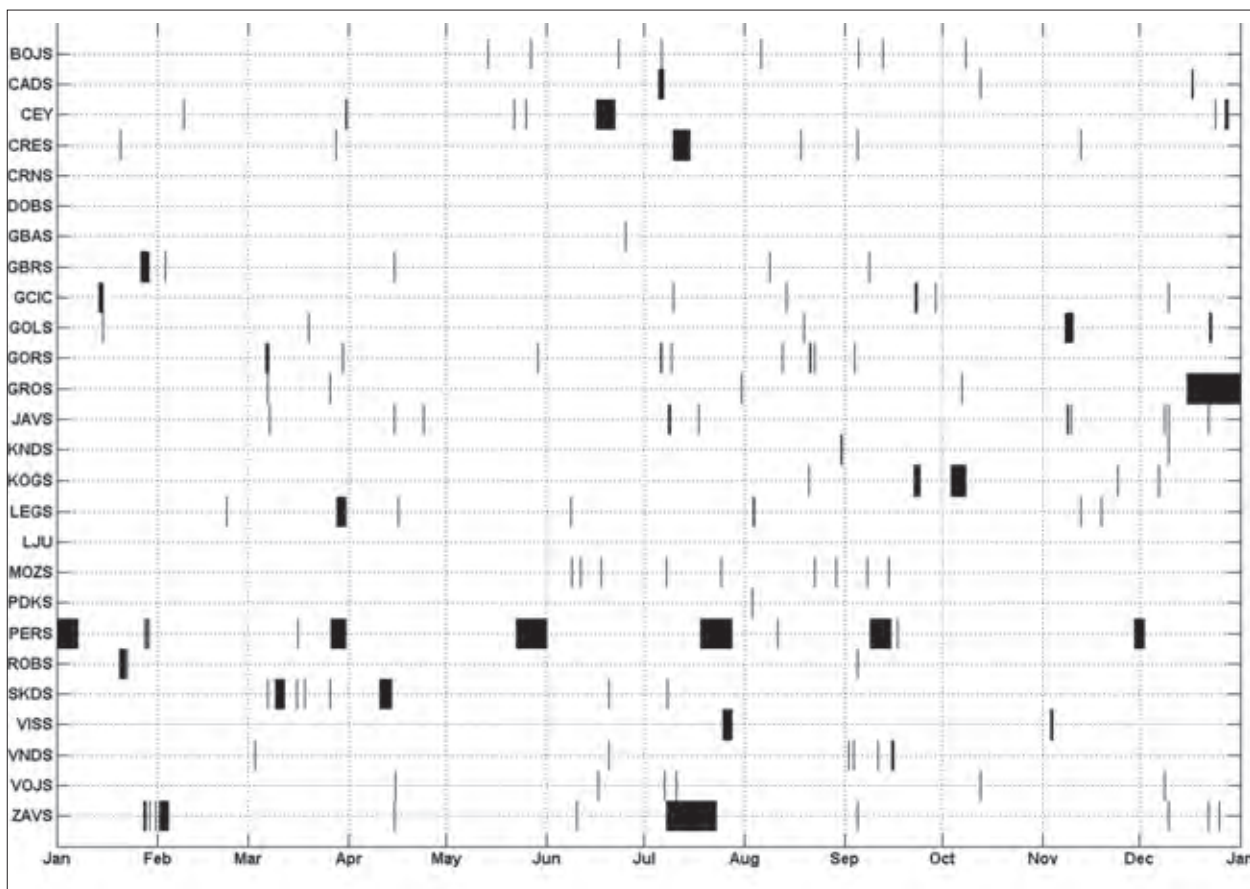
Slika 1. Skupno trajanje izpadov glede na časovni interval (trajanje posameznega izpada) za vsako potresno opazovalnico posebej.

Figure 1. An overview of analysis of SNRS operation (sum of out-of-operation periods for particular length of period class, for all stations).

posamezne potresne opazovalnice glede na določen časovni interval ter skupno trajanje izpadov posamezne potresne opazovalnice v določenem mesecu. Če v določenem časovnem obdobju pride do večkratnega izpada komunikacij, lahko pride do popolne izgube podatkov (programska oprema pošilja vedno iste podatke). V tem primeru pride do tako imenovanih pogojnih izpadov (izpadi, za katere velja, da je v določenem časovnem oknu razmerje med skupnim časom izpadov in celotnim časom večje kot 40/60), za katere privzamemo, da komunikacije z opazovalnico v opazovanem časovnem obdobju ni bilo.

Na osnovi podatkov o izpadih izračunamo tudi število in trajanje izpadov, v katere je bilo vključenih več potresnih opazovalnic sočasno. Izpade smo razdelili glede na trajanje ter glede na število opazovalnic, ki so sočasno izpadle.

Omenjeni podatki so pomembni predvsem s stališča odkrivanja napak, katere nimajo izvora na posamezni potresni opazovalnici, ampak imajo izvor v komunikacijski hrbtenici. Na odkrite napake lahko opozorimo za to pristojne službe (HKOM, ASTEC in druge). V prispevku podajamo tudi rezultate omenjene analize. V rezultatih podajamo statistiko sočasnih izpadov: njihovo število, njihovo trajanje ter število opazovalnic, ki so izpadle.



Slika 2. Pregled delovanja državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2009. Izpadi so označeni s črno barvo. Zaradi ločljivosti so vidni samo izpadi, ki so trajali nekaj ur.

Figure 2. Overview of out-of-operation periods for SNRS in 2009. Because of resolution, only out-of-operation periods longer than few hours are visible.

Rezultati analize

Najprej podajamo skupno trajanje izpada posameznih potresnih opazovalnic glede na določen časovni interval trajanja izpada (slika 1). Časovni intervali so: med 0 – 15 minut, med 15 – 60 minut med 60 – 120 minut in nad 120 minut. Na naslednji sliki (slika 2) je prikazano trajanja izpada po potresnih opazovalnicah v vsem letu. Pregled najdaljših izpadov za posamezno potresno opazovalnico in razlogi zanje so podani v preglednicah 1 in 2.

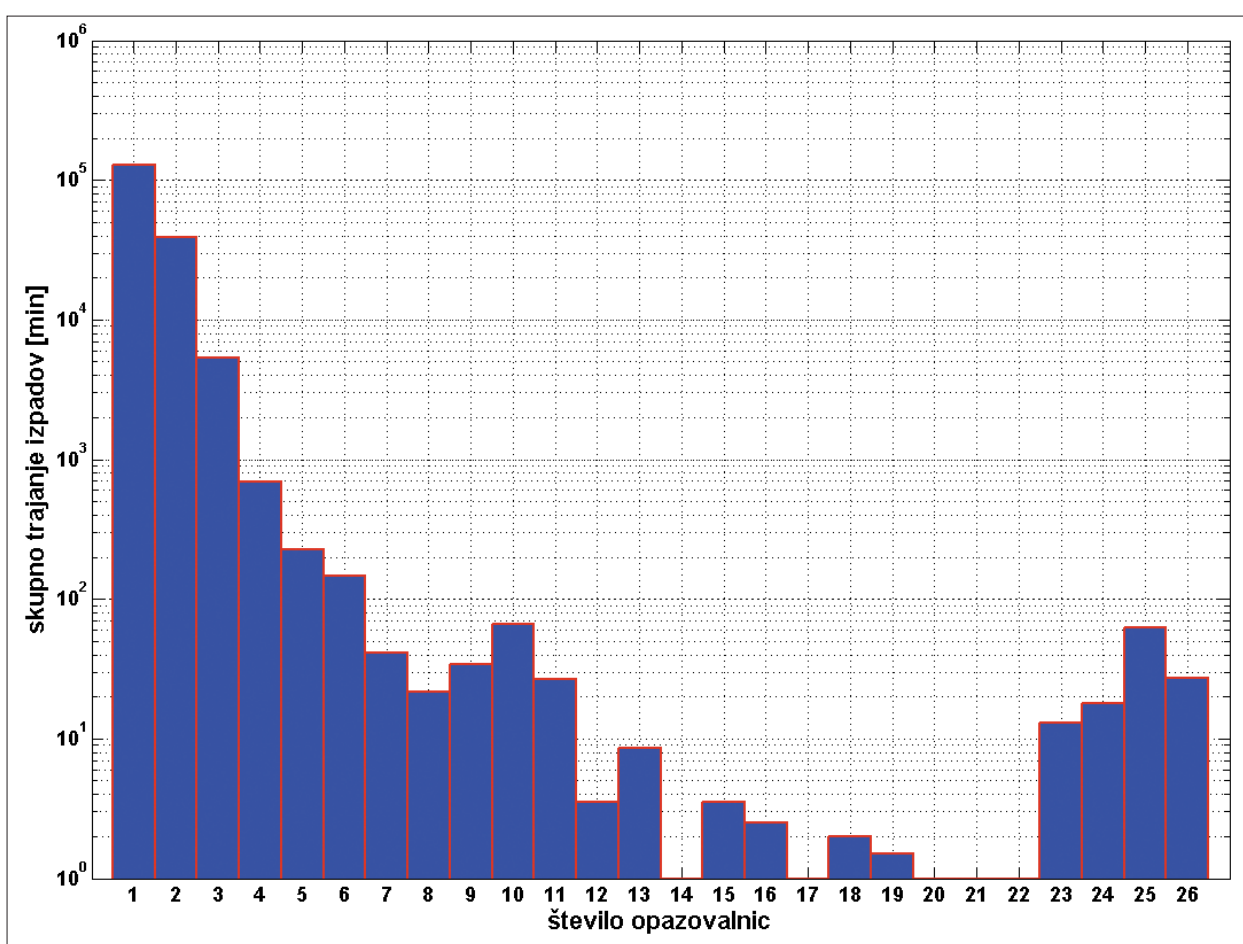
Prikažemo še rezultate analize delovanja mreže potresnih opazovalnic, ki obravnavajo izpade, kjer istočasno več potresnih opazovalnic ni pošiljalo podatkov. V preglednici 3 in na sliki 3 podajamo skupno trajanje izpadov glede na število opazovalnic, ki niso pošiljale podatkov. Posamezna vrednost predstavlja skupno trajanje vseh izpadov, v katere je bilo vključenih natančno določeno število opazovalnic. Vsak stolpec na sliki 3 predstavlja skupno trajanje istočasnih izpadov določenega števila potresnih opazovalnic. Stolpci se med seboj izključujejo, kar pomeni, da vrednost posameznega stolpca predstavlja le vsoto istočasnih izpadov pripadajočega števila potresnih opazovalnic (primer: vrednost 20. stolpca predstavlja vsoto skupnih izpadov točno 20 potresnih opazovalnic in ne zajema izpadov, v katere je vključenih tudi več potresnih opazovalnic). Zavedati se je treba, da je skupno trajanje izpadov v posameznem stolpcu sestavljeno iz več izpadov iste vrste in zato ne prikazuje kritičnih izpadov (več kot polovica opazovalnic ne deluje več kot eno ali dve uri).

Pregled in analiza kritičnih izpadov je pomembna, saj je natančnost lociranja žarišča in magnitude potresa neposredno odvisna od števila v analizo zajetih potresnih opazovalnic. Teoretično

Preglednica 3. Skupno trajanje izpadov, podano v minutah (črna barva) glede na število opazovalnic (rdeča barva), ki so bile istočasno vključene v izpad.

Table 3. Sum of out-of-operation periods in minutes (black color) with respect to number of seismic stations (red color), that were included in out-of-operation period.

število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov	število opaz.	skupno trajanje izpadov
2	39026	7	41	12	3,5	17	0,5	22	156
3	5294	8	21	13	8,5	18	2	23	13
4	686	9	34	14	0,5	19	1,5	24	18
5	228	10	66	15	3,5	20	0,5	25	62
6	146	11	26	16	13	21	1	26	27



Slika 3. Skupno trajanje izpadov, v katere je bilo vključenih več potresnih opazovalnic hkrati v letu 2009.

Figure 3. Sum of out-of-operation periods that happened at several seismic stations simultaneously (in 2009)

so za določitev nadžarišča (epicenter) potresa potrebne najmanj tri opazovalnice, če želimo določiti še žariščno globino, so potrebne najmanj štiri potresne opazovalnice. V resnici imamo pri postopku lociranja potresa mnogo neznank, ki jih pri oceni parametrov potresa zmanjšamo z večjim številom potresnih opazovalnic, ki sodelujejo pri analizi. Kritični izpadi (izguba toka podatkov v stvarnem času iz več kot 70 % potresnih opazovalnic), do katerega pride v trenutku potresa, lahko predstavljajo velik problem, saj je določitev potresnih parametrov v takem primeru otežena oziroma manj točna. Pregled sočasnih izpadov je podan v preglednici 4.

Preglednica 4. Število izpadov glede na njihovo trajanje (modra barva) in glede na število potresnih opazovalnic (rdeča barva), ki so bile istočasno vključene v izpad. Vijolična barva predstavlja kritične izpade, ki onemogočijo takojšnje avtomatsko določitev osnovnih parametrov potresa. Zelena barva predstavlja pogojno kritične izpade, ki glede na lokacijo potresa in lokacijo potresnih opazovalnic, ki so potrebne za avtomatsko analizo, lahko onemogočijo takojšnje avtomatsko določitev osnovnih parametrov potresa.

Table 4. Overview of simultaneous out-of-operation periods for SNRS. Purple color – critical out-of-operation periods (automatic analysis of earthquake parameters is not possible). Green color - critical out-of-operation periods (automatic analysis of earthquake parameters is aggravated).

število opaz.	dolžina trajanja izpadov						
	0 – 5 min	5 – 15 min	15 – 30 min	30 – 45 min	45 – 60 min	60 – 120 min	> 120 min
2	2595	699	192	103	51	131	242
3	1375	281	57	37	23	40	78
4	488	126	18	8	6	14	5
5	180	13	2	1	0	1	0
6	71	6	0	1	0	0	0
7	17	2	1	0	1	0	0
8	13	2	0	0	0	0	0
9	11	0	0	0	0	0	0
10	14	0	0	0	0	0	0
11	19	0	1	0	0	0	0
12	14	0	0	0	0	0	0
13	1	0	0	0	0	0	0
14	4	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	2	0	0	0	0	0	0
17	1	0	0	0	0	0	0
18	0	0	0	0	0	0	0
19	1	0	0	0	0	0	0
20	0	0	0	0	0	0	0
21	0	0	0	0	0	0	0
22	0	0	0	0	0	0	0
23	0	0	0	0	0	0	0
24	0	2	0	0	0	0	0
25	12	0	0	0	0	0	0
26	28	0	0	0	0	0	0

Zaključek

V članku smo analizirali delovanje Državne mreže potresnih opazovalnic v letu 2009. Ugotovili smo, da se izpadi (prekinitve v komunikaciji s posamezno potresno opazovalnico) pojavljajo neprestano, pri čemer je treba poudariti, da je izpadov, daljših od dveh ur malo. Medtem, ko je vzrok krajših izpadov vedno manjša napaka na komunikacijah, pa so vzroki daljših izpadov raznovrstni. V grobem jih lahko delimo v tri skupine. V prvi skupini so problemi v zvezi z dobavo električne energije ter motnjami v varovalnem sistemu potresne opazovalnice (predvsem so to

izpadi varovalk in okvare na enotah UPS). Za rešitev tega problema v najbolj kritične opazovalnice vgrajujemo tako imenovane avtomatske varovalke (avtomatska stikala FID), ki se ponovno vklopijo po določenem časovnem intervalu. V drugo skupino spadajo problemi v zvezi s komunikacijo (napake na modemih in usmernikih). V tretjo skupino pa uvrščamo okvare na seizmološki opremi (okvare na seizmometrih in zajemalnih enotah). V letu 2009 smo nadaljevali z izboljšavami enot UPS, kar je pripomoglo k daljši avtonomnosti sistema in posledično k stabilnejšemu delovanju mreže potresnih opazovalnic. Na hitrost odprave napak pogosto vpliva tudi vrsta dejavnikov, na katere ne moremo vplivati (slabe vremenske razmere, fizične napake na komunikacijskih poteh ...). V članku podajamo tudi izpade, v katere je bilo vključenih več potresnih opazovalnic hkrati. Posebno pozornost smo namenili predvsem tako imenovanim kritičnim izpadom, kjer je v izpad istočasno vključenih več kot 70 % potresnih opazovalnic oziroma več kot 20 potresnih opazovalnic za več kot 5 minut. Ugotovili smo, da sta bila taka izpada v letu 2009 le dva (v letu 2008 je bilo tovrstnih izpadov 10).

Literatura

<http://www.arso.gov.si/podrocja/potresi/podatki/>

Interni arhiv sektorja za potresna opazovanja.

Mali, M., 2009. Interno poročilo; poročilo o delovanju oziroma izpadih za leto 2009.

UČINKOVITOST PRIDOBIVANJA PODATKOV IZ DRŽAVNE MREŽE
POTRESNIH OPAZOVALNIC V LETU 2009
SEISMIC DATA ACQUISITION EFFICIENCY FOR SEISMIC NETWORK
OF THE REPUBLIC OF SLOVENIA IN 2009

Jurij Pahor

Povzetek

Izguba podatkov v letu 2009 s šestindvajsetih opazovalnic Državne mreže potresnih opazovalnic znaša 1,5 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev v sekundi (HH) ter 1,3 % za podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 20 vzorcev v sekundi (BH). Največji izpad podatkov je bil pri opazovalnici PERS, predvsem zaradi okvare opreme za prenos podatkov.

Abstract

In 2009 the Seismic Network of the Republic of Slovenia was operating all of the twenty six seismic stations. The data loss was evaluated from Antelope wfdisc database table and was found to be 1.5 % for 200 sps data streams (HH) and 1.3 % for 20 sps data streams (BH). The greatest data loss is accounted for seismic station PERS, mainly due to the communication hardware failures.

Izguba podatkov v letu 2009

V analizi je zajetih šestindvajset potresnih opazovalnic Državne mreže. Spremljali smo podatkovne nize s frekvenco vzorčenja 200 izmerkov v sekundi (HH) in 20 izmerkov v sekundi (BH). Odstotki izgube podatkov za posamezne opazovalnice in za celotno mrežo skupaj so izračunani iz razlike med pridobljenimi podatki ter pričakovano količino podatkov (Pahor in Živčič, 2007).

V letu 2009 smo zabeležili večjo izgubo seizmičnih podatkov le iz opazovalnice na Pernicah (PERS), ki občasno po nekaj dni ni pošiljala podatkov zaradi težav s komunikacijsko opremo (preglednica 1).

Pri senzorjih v vrtinah se smeri vodoravnih komponent ne ujemajo s smermi sever-jug (HHN) in vzhod-zahod (HHE), zato so ustrezni podatkovni nizi označeni s HH1 in HH2. V preglednici 1 so HH1 vključeni med HHE, HH2 pa med HHN podatkovne nize.

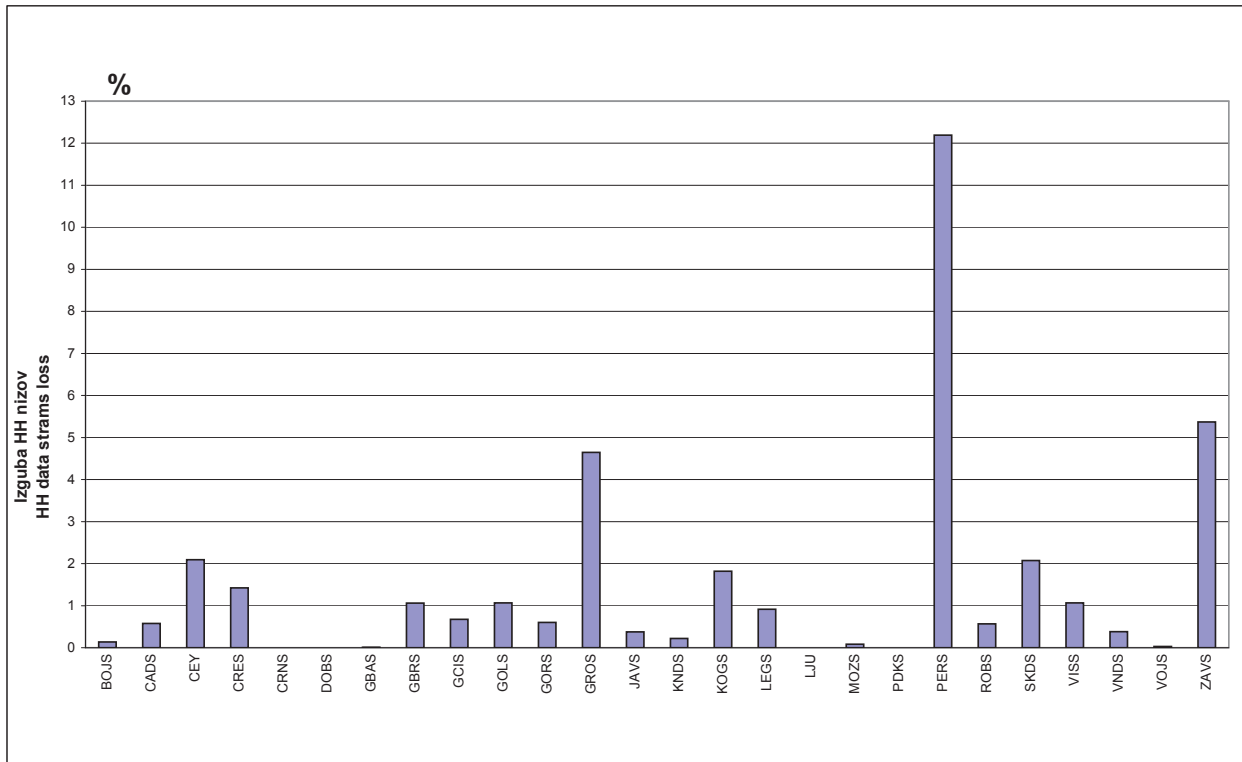
Zaključek

Na stalnih potresnih opazovalnicah smo v letu 2009 zabeležili izgubo 1,5 % podatkov z vzorčenjem 200 izm./sek. Največjo izgubo, 12,2 %, smo zabeležili na opazovalnici na Pernicah. Delovanje potresnih opazovalnic Državne mreže je bilo zelo stabilno, saj je povprečna izguba HH podatkovnih nizov še manjša kot v preteklem letu, ko je znašala 2,5% (Pahor, 2009). Na 24 opazovalnicah smo pridobili več kot 95% podatkov, na 21 več kot 98%. Na večini opazovalnic (16) je bila izguba podatkov na HH kanalih manjša od enega odstotka.

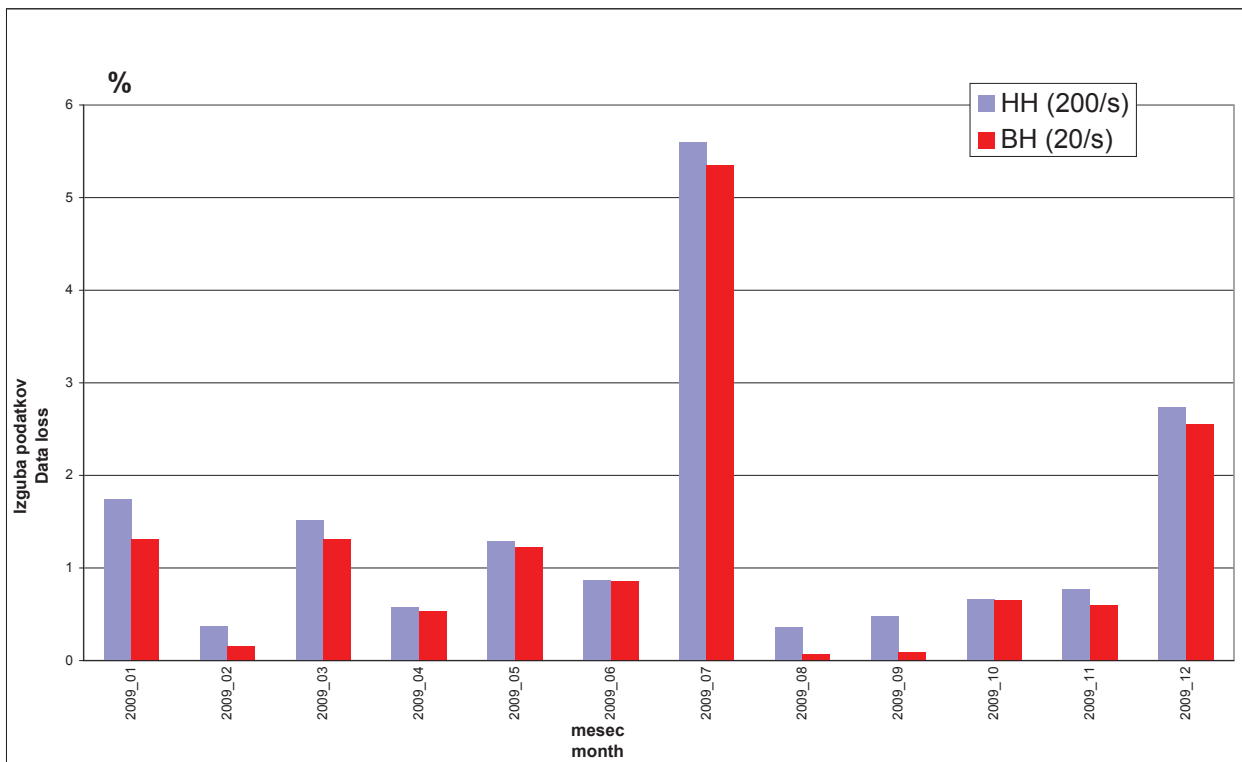
Preglednica 1. Delež izgubljenih podatkov za tri komponente HH in BH podatkovnih nizov glede na pričakovano količino podatkov posamezne opazovalnice v letu 2009.

Table 1. Data loss as the percentage of expected quantity of collected data for three-channel HH and BH data streams in 2009.

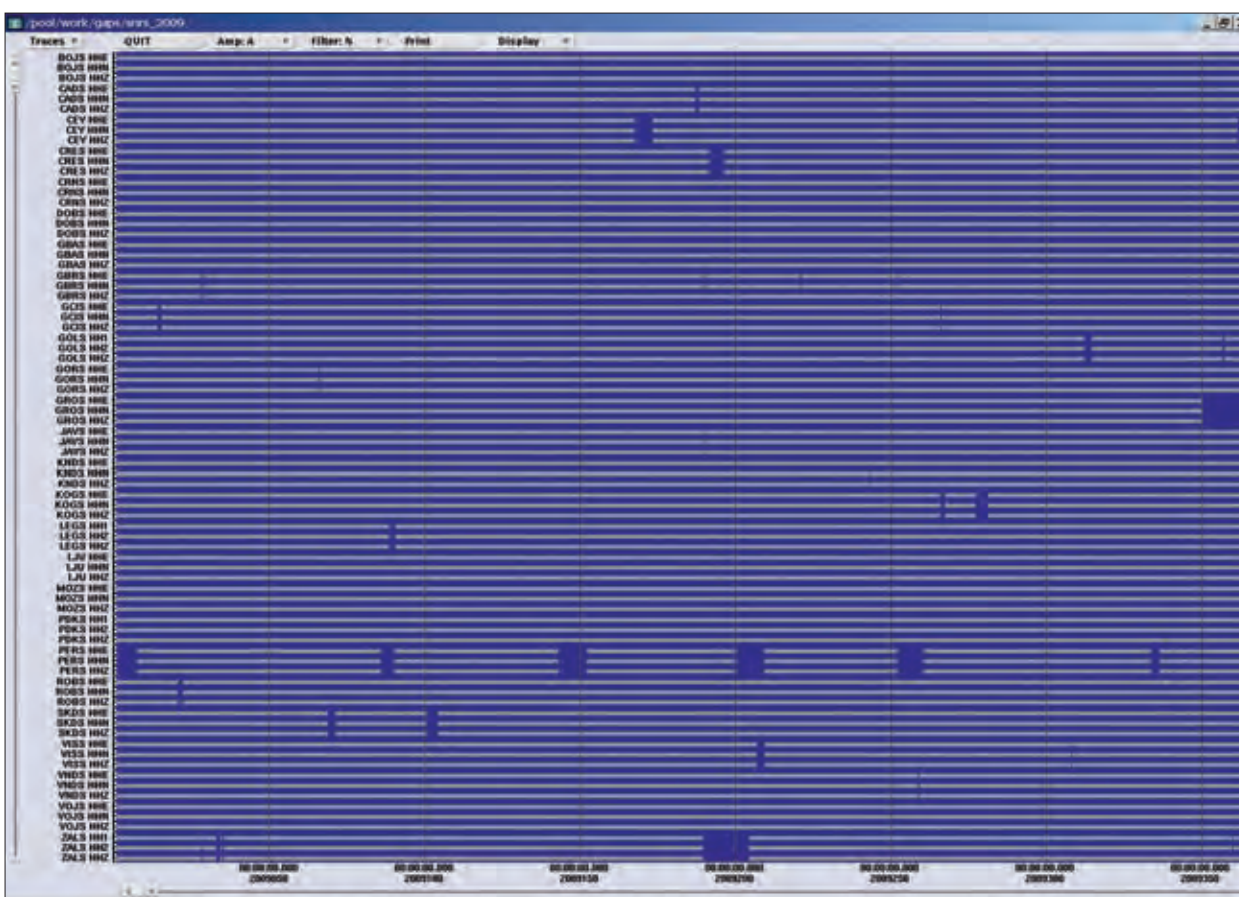
%	HHE	HHN	HHZ	BHE	BHN	BHZ
BOJS	0,2	0,2	0,1	0,0	0,0	0,0
CADS	0,6	0,6	0,5	0,2	0,2	0,1
CEY	2,1	2,1	2,1	2,0	2,0	2,0
CRES	1,5	1,4	1,4	1,4	1,4	1,4
CRNS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
DOBS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GBAS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
GBRS	1,3	1,3	0,5	0,0	0,0	0,0
GCIS	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7
GOLS	1,1	1,1	1,0	1,0	1,0	1,0
GORS	0,6	0,6	0,5	0,0	0,1	0,0
GROS	4,7	4,6	4,7	4,6	4,7	4,7
JAVS	0,4	0,4	0,3	0,2	0,2	0,2
KNDS	0,2	0,2	0,2	0,0	0,0	0,0
KOGS	1,8	1,8	1,8	1,8	1,8	1,4
LEGS	0,9	0,9	0,9	0,8	0,8	0,6
LJU	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
MOZS	0,1	0,1	0,1	0,0	0,0	0,0
PDKS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
PERS	12,2	12,2	12,1	12,1	12,1	12,1
ROBS	0,6	0,6	0,5	0,5	0,5	0,0
SKDS	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1	2,1
VISS	1,1	1,1	1,1	0,8	0,8	0,7
VNDS	0,4	0,4	0,4	0,1	0,1	0,1
VOJS	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
ZAVS	5,4	5,5	5,2	4,7	4,7	4,2
mreža / network	1,5	1,5	1,4	1,3	1,3	1,2



Slika 1. Izguba HH podatkovnih nizov po opazovalnicah v letu 2009.
Figure 1. Data loss of HH data streams for each seismic station in 2009.



Slika 2. Skupna izguba seizmičnih podatkov po mesecih v letu 2009.
Figure 2. Overall monthly data loss for the network in 2009.



Slika 3. Razpoložljivost podatkov iz HH podatkovnih nizov v letu 2009. Časovna skala prikazuje dan v letu.

Figure 3. Data availability for HH data streams for permanent seismic stations in 2009. Time scale shows day of the year.

Literatura

- Boulder Real Time Technologies, inc.(online), 2005 (citirano 23.6.2010). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brtt.com/>
- Pahor J., Živčič M., 2007. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2005. Potresi v letu 2005.
- Pahor J., 2009. Učinkovitost zbiranja podatkov iz potresnih opazovalnic v letu 2008. Potresi v letu 2008.
- Sinčič, P, Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2010. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2009. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

POSODOBITEV POTRESNE OPAZOVALNICE VNDS MODERNIZATION OF THE SEISMIC STATION VNDS

Izdor Tasič, Marko Mali, Peter Sinčič

Povzetek

Potresna opazovalnica VNDS (Vrh nad Dolskim) je začela delovati januarja 2006. Avgusta 2009 smo z zamenjavo seizmometra opravili posodobitev opazovalnice. Seizmometer CMG-40T smo nadomestili s seizmometrom CMG-3ESPBH, ki smo ga postavili v vrtino 14 metrov pod površjem. Orientacijo seizmometra v vrtini lahko določimo samo s pomočjo referenčnega seizmometra na površini. Neposredna korist zamenjave seizmometra je bila izboljšano razmerje signal-šum in s tem večja občutljivost ter boljša kakovost podatkov s potresne opazovalnice.

Abstract

The seismic station VNDS (Vrh nad Dolskim) started operating in January 2006. At the beginning it was equipped with a surface seismometer CMG-40T. In August 2009 CMG-40T seismometer was replaced by a borehole seismometer CMG-3ESPBH, which was installed in a shallow borehole in the depth of 14 meters below surface. For defining the orientation of borehole seismometer, surface seismometer is needed as a reference. The quality of recorded data and detection capabilities have been improved after the seismometer replacement.

Uvod

Potresna opazovalnica na Vrh pri Dolskem, z oznako VNDS, leži na južnem pobočju Murovice, približno 500 metrov južno od vasi z istim imenom. Je tipska potresna opazovalnica, kar pomeni, da opazovalnico sestavljata tako imenovana seizmični in pomožni jašek (Vidrih, 2007). Seizmični jašek je namenjen za seizmološko opremo, kar vključuje seizmometer in zajemalno napravo. V pomožnem jašku se nahajata brezprekinitveno napajanje in komunikacijska oprema za neprekinjen prenos podatkov po državnem računalniškem omrežju v središče za obdelavo podatkov v Ljubljani. Prenos podatkov poteka po najeti liniji. Potresna opazovalnica je bila gradbeno dokončana leta 2004. Že v času gradnje je bila v seizmičnem jašku zvrtna tudi 14 m globoka vrtina. Vanjo je bila vstavljena kovinska cev z notranjim premerom 11,5 cm. Zaradi težav z vzpostavitvijo komunikacijske linije je opazovalnica začela z obratovanjem šele leta 2006. V začetku je bila potresna opazovalnica opremljena s seizmometrom CMG-40T (Guralp, 2010) s pasovno širino od 50 Hz do 0,033 Hz ($1/30 \text{ s}^{-1}$). Seizmometer je bil postavljen na betonski podstavek na dnu jaška, približno tri metre pod površjem. Avgusta 2009 smo na tej lokaciji zamenjali seizmometer (slika 1).

Postavitev seizmometra v vrtino

Seizmometer CMG-40T smo nadomestili s seizmometrom CMG-3ESPBH (Guralp, 2010), ki smo ga postavili na dno vrtine. Seizmometri tipa CMG-3ESP imajo manjši lastni šum kot CMG-40T in so namenjeni za meritve na območjih z relativno majhnim potresnim nemirom (Tasič 2009). Pasovna širina seizmometra je od 50 Hz do 0,0083 Hz. Je valjaste oblike s premerom 8 cm in višino 90 cm. Ker se pri spuščanju v vrtino lahko nenadzorovano zavrti v poljubno smer, lahko njegovo končno usmeritev določimo samo s pomočjo referenčnega seizmometra na površini. Zamenjavo seizmometra je izvedla ekipa Urada za seizmologijo in geologijo. Potekala je v naslednjih fazah: testiranje seizmometra na testni lokaciji, namestitev seizmometra na opazovalnici VNDS in določitev usmeritve s pomočjo seizmometra na površini. Delovanje seizmometra smo preverili na testni lokaciji na observatoriju na Golovcu, kjer smo ugotovili napako v delovanju



Slika 1. Namestitvev seizmometra v vrtino v fazi niveliranja seizmometra s pomočjo vgrajenega inklinometra. Na betonskem podstavku je viden tudi seizmometer CMG-40T, ki smo ga uporabili za določitev usmeritve seizmometra v vrtini.

Figure 1. Leveling phase of the borehole seismometer installation using a built in inclinometer. The seismometer CMG-40 T, used for the borehole sensor orientation setting, can be seen on concrete pier.

seizmometra in ga zato poslali v popravilo proizvajalcu. Po popravilu in uspešno prestanem ponovnem preverjanju delovanja smo seizmometer namestili na lokaciji VNDS. Postopek namestitve seizmometra na opazovalnici so sestavljale naslednje faze:

- transport seizmometra do lokacije,
- priprava seizmometra na spuščanje v vrtino,
- spuščanje v vrtino,
- niveliranje seizmometra s pomočjo vgrajenega inklinometra,
- utrjevanje seizmometra v vrtini,
- odklepanje senzorjev in
- testiranje delovanja seizmometra.

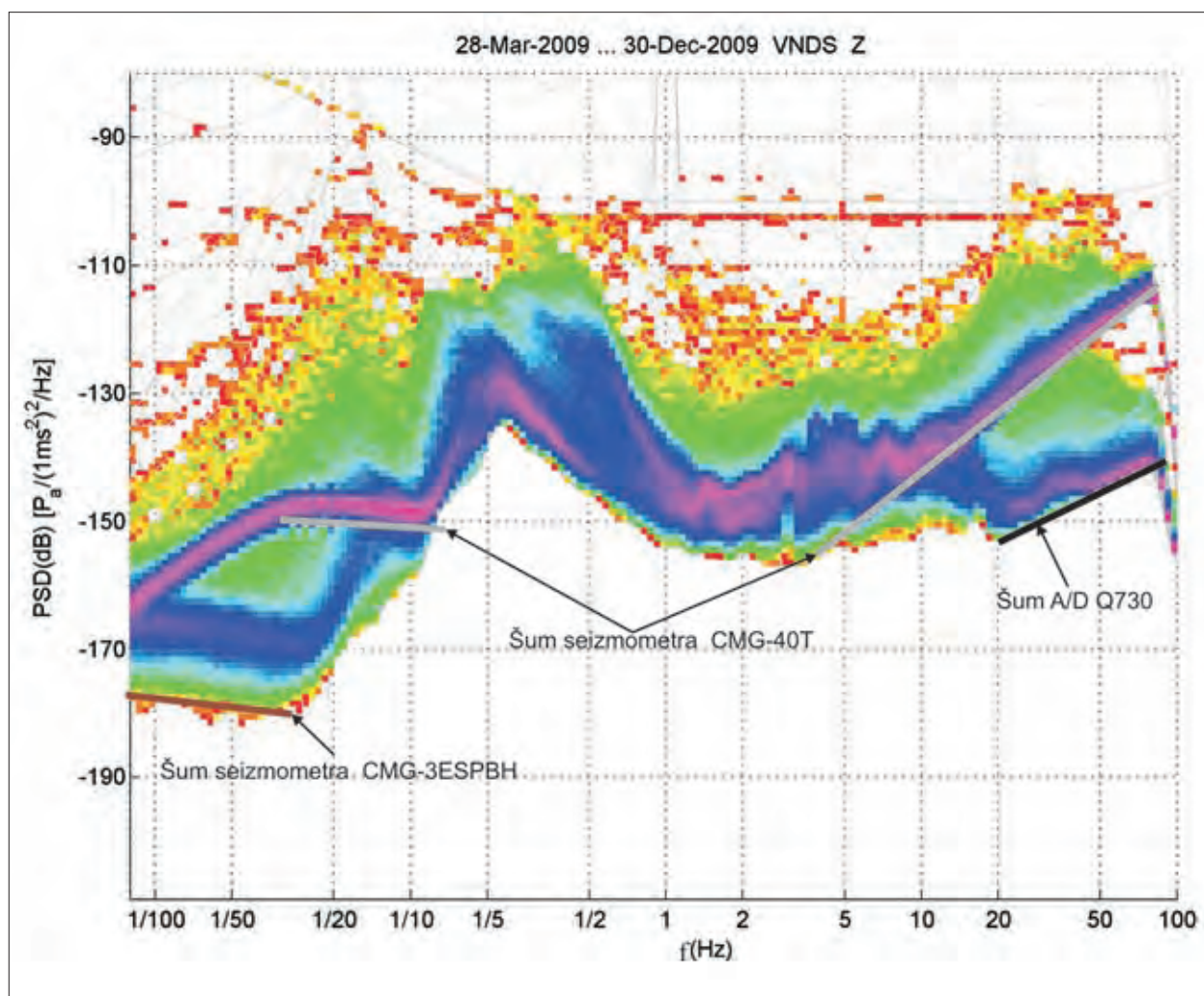
Seizmometer s pomočjo jeklenice počasi spustimo v vrtino in po nivelaciji utrdimo s finim kremenčevim peskom.

Določitev usmeritve seizmometra

Ker seizmometer nima vodila za pravilno usmeritev seizmometra v postopku spuščanja v vrtino, se le ta med samim postopkom vrtili okoli svoje osi. Zato njegovo lego natančneje določimo s pomočjo referenčnega seizmometra na površini, ki ga pred tem pravilno usmerimo v smeri sever-jug. Za referenčni seizmometer smo uporabili že obstoječi seizmometer CMG-40T. Signala iz obeh seizmometrov smo zajemali s 6-kanalno zajemalno enoto EarthData PR6 (EarthData, 2010). Usmeritev seizmometra v vrtini smo nato določili naknadno z analizo seizmičnih zapisov. Seiz-

momenter v vrtini se je med spuščanjem zavrtel za $219^\circ (\pm 1^\circ)$ v smeri urnega kazalca (Tasič, 2004). Tridimenzionalna transformacijska matrika R , ki povezuje signal sv , zabeležen na seizmometru v vrtini s signalom sp , zabeleženim na seizmometru na površini, $sp = R \times sv$ je:

$$R = \begin{bmatrix} -0.776 & -0.624 & -0.000 \\ -0.634 & 0.773 & 0.005 \\ 0.061 & 0.030 & 0.988 \end{bmatrix}$$



Slika 2. Prikaz seizmičnega šuma na potresni opazovalnici VNDS za navpično komponento seizmičnega šuma za obdobje od 28. marca do 30. decembra 2009. Seizmometer smo menjali avgusta 2009. Barva posamezne točke na slikah nam podaja relativno gostoto vrednosti spektrov močnostne gostote v tej točki in prehaja od vijolične preko modre, zelene in rumene, do rdeče. (Vijolična podaja nivo potresnega nemira, ki je na potresni opazovalnici prisoten večino časa, rdeča predstavlja nivo potresnega nemira, ki je na potresni opazovalnici prisoten zelo redko). Spodnji nivo šuma seizmometra CMG-40T je označen s sivo, seizmometra CMG-3ESPBH z rjavo in zajemalne enote Q730 s črno črto.

Iz slike je razvidno, da ima seizmometer CMG-40T višji lastni šum kot seizmometer CMG-3ESPBH.

Figure 2. Seismic noise recorded on the vertical component of the seismic station VNDS from 28 March to 30 December 2009. The colour of the particular point represent relative density value of PSD (power spectra density) in that point and is changing from violet, blue, green and yellow to red. Violet stands for permanent seismic noise on seismic station, while red represents seismic noise that occurred on rare occasions. Grey line denotes bottom level of CMG-40T seismic noise and brown line the bottom level of CMG-3ESPBH seismic noise. Black line denotes bottom level of the acquisition unit Q730 noise. It is evident that self-noise of CMG-40T is larger than self-noise of CMG-3ESPBH.

Izboljšava kvalitete meritev zaradi zamenjave seizmometra

O kvaliteti potresne opazovalnice nam med drugim veliko pove tudi spodnji nivo zabeleženega šuma, ki je sestavljen iz potresnega nemira in lastnega šuma seizmološke opreme. Šibke signale zaznamo lahko le s seizmometri, ki imajo nizek nivo lastnega šuma. Skupen nivo šuma na potresni opazovalnici ocenjujemo na osnovi spektra močnostne gostote (PSD) zabeleženega signala. Za prikaz časovnega spreminjanja seizmičnega šuma na potresni opazovalnici VNDS smo uporabili »kumulativen« prikaz PSD-jev. Na sliki 2 je prikazan kumulativen prikaz za navpično komponento nihanj tal za obdobje od 28. marca do 30. decembra 2009. Tako so zajeti spektri moči signalov za obdobje delovanja seizmometra CMG-40T in za obdobje delovanja seizmometra CMG-3ESPBH. Barve posameznih točk na sliki nam podajajo relativno gostoto vrednosti spektrov močnostne gostote v teh točkah in prehajajo od vijolične preko modre, zelene, rumene do rdeče. Vijolična predstavlja zelo veliko gostoto vrednosti in podaja nivo potresnega nemira, ki je na potresni opazovalnici prisoten večino časa. Rdeča predstavlja nivo potresnega nemira, ki je na potresni opazovalnici prisoten občasno: ob posameznih potresnih dogodkih oziroma raznih servisnih posegih na potresni opazovalnici. Poleg tega smo na sliki označili s črtami še spodnji nivo šuma seizmometra CMG-40T (siva črta), ki izstopa tako pri visokih kakor tudi pri nizkih frekvencah. Spodnji nivo šuma seizmometra CMG-3ESPBH (rjava črta) je prisoten pri nizkih frekvencah. Spodnji nivo šuma zajemalne enote Q730 (črna črta) je prisoten pri seizmometru CMG-3ESPBH pri visokih frekvencah. Iz slike je razvidno, da smo z novim seizmometrom izboljšali občutljivost potresne opazovalnice v smislu zaznavanja šibkih signalov tako pri frekvencah nižjih od 0,1 Hz kot tudi pri frekvencah nad 4 Hz. Pri še višjih frekvencah (nad 20 Hz) omejuje zaznavanje potresnega nemira visok lastni šum zajemalne enote Q730, pri nizkih frekvencah, pod 0,04 Hz, pa omejuje zaznavanje šibkih signalov z dolgimi periodami lastni šum seizmometra v vrtini.

Zaključek

Kvaliteta potresne opazovalnice je neposredno povezana z nameščeno seizmološko opremo, saj je pri natančnem opazovanju potresne dejavnosti določenega območja potrebno poznati in locirati tudi zelo šibke potrese, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o potresnih značilnostih opazovanih prelomov. S postavitvijo seizmometra v vrtino smo izboljšali občutljivost potresne opazovalnice v smislu zaznavanja šibkih potresov.

Literatura:

- Tasič, I., 2004. Seizmometer v vrtini, Potresi v letu 2002, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 85-93, Ljubljana.
- Tasič, I., 2009. Lastnosti seizmološke opreme državne mreže potresnih opazovalnic. Ujma, Uprava RS za zaščito in reševanje, 140-144, Ljubljana
- Vidrih, R. (urednik), 2007. Državna mreža potresnih opazovalnic. Seismic Network of Slovenia, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana
- EarthData: <http://www.earthdata.co.uk/pr6-24.html> (zadnjič dostopno 2010-09-27)
- Guralp, <http://www.guralp.com/products> (zadnjič dostopno 2010-09-27)

POVEČANJE LOKALNEGA POMNILNIKA ZA ZAJEMALNE ENOTE Q730 QUANTERRA Q730 LOCAL DATA STORAGE EXTENSION

Ididor Tasič, Luka Pančur, Igor Pfundner, Marko Mali

Povzetek

Državno mrežo potresnih opazovalnic sestavlja 26 potresnih opazovalnic, ki so vse opremljene z zajemalnimi enotami Quanterra Q730. Podatki iz potresnih opazovalnic se prenašajo v center za obdelavo podatkov v Ljubljano v stvarnem času. V primeru izpada komunikacijskih poti zajemalna enota shranjuje podatke na lokalnem pomnilniku. Glavna slabost zajemalnih enot Q730 je majhen lokalni pomnilnik, ki omogoča hranjenje podatkov od ene do dveh ur, odvisno od števila seizmičnih kanalov, velikosti notranjega pomnilnika in stisljivosti podatkov. (velikost pomnilnika je 8 ali 16 MB). V primeru daljšega izpada so podatki zgubljeni. Zato smo preučili možnost vgradnje zunanega pomnilnika, ki bi bil nameščen neposredno ob zajemalni enoti in bi preko serijskih vrat RS232 prejemal podatke in jih shranjeval.

Abstract

Seismic Network of the Republic of Slovenia consists of 26 seismic stations equipped with data acquisition systems Quanterra Q730. Seismic data are transmitted in real-time to the data center in Ljubljana (DC), where the Seismology and Geology Office is located. The main disadvantage of Quanterra Q730 data loggers is small local memory storage. They are equipped only with a 16 MB (or 8 MB) RAM module, used for program operations and temporary data storage. In case of a longer failure on the communication lines to the data center, the data are lost. The length of »allowed« communication breakdowns depends on data compression, number of acquisition channels (3 or 6) and the size of installed RAM, but it can not be longer than two hours. For this reason, a solution with external local data storage was studied, where data are collected using com port by RS232 protocol.

Uvod

Opazovalnice Slovenske mreže potresnih opazovalnic so opremljene z zajemalnimi enotami Quanterra Q730. Osrednji del zajemalne enote je 32-bitna procesna enota Motorola 68030. Ker vsak seizmometer sestavljajo trije senzorji, ki omogočajo meritve nihanja tal v treh med seboj pravokotnih smereh, vsebuje vsaka zajemalna enota tri 24-bitne analogno digitalne pretvornike (A/D), ki beležijo tri vhodne napetosti iz seizmometra. Na petih potresnih opazovalnicah imajo zajemalne enote šest neodvisnih A/D pretvornikov, ker so na teh opazovalnicah poleg seizmometrov nameščeni tudi akcelerometri. Osnovna frekvenca vzorčenja pri Quanterra Q730 je 20 kHz; nižje frekvence vzorčenja dobimo z digitalno obdelavo signala. Izhodne frekvence vzorčenja podatkovnih nizov so nastavljive in na opazovalnicah državne mreže potresnih opazovalnic v Sloveniji so tri: 200, 20 in 1 vzorec na sekundo. Vzorčenje 200 vzorcev na sekundo je namenjeno opazovanju bližnjih potresov, vzorčenje 20 in 1 vzorec na sekundo pa oddaljenim potresom. Za točen čas skrbi enota GPS, zapisi so označeni s časom UTC bolj kot eno milisekundo natančno. Q730 ima vgrajeno še komunikacijsko kartico in pošilja podatke v stvarnem času prek državnega računalniškega omrežja v središče za obdelavo podatkov, kjer poteka avtomatska analiza seizmoloških podatkov in avtomatska ocena potresnih veličin v skoraj realnem času. Istočasno se v centru seizmološki podatki shranjujejo tudi v podatkovne krožne pomnilnike. Zajemalne enote Q730 so bile skonstruirane v devetdesetih letih prejšnjega stoletja in njihova največja pomanjkljivost je majhen lokalni pomnilnik (Quanterra, 1999). Opremljene so z 8Mb oziroma 16Mb modulom RAM, ki ga zajemalna enota uporablja tako za programske operacije kakor tudi za lokalni krožni pomnilnik. Krožni pomnilnik pomeni, da ko zmanjka prostora na pomnilniški enoti, novi podatki prepisejo najstarejše. Na ta način so vedno ohranjeni najmlajši podatki. Največja količina shranjenih podatkov na lokalnem pomnilniku je odvisna tako od števila vhodnih kanalov zajemalne enote, kakor tudi od stisljivosti seizmičnih podatkov in tudi od velikosti enote RAM.

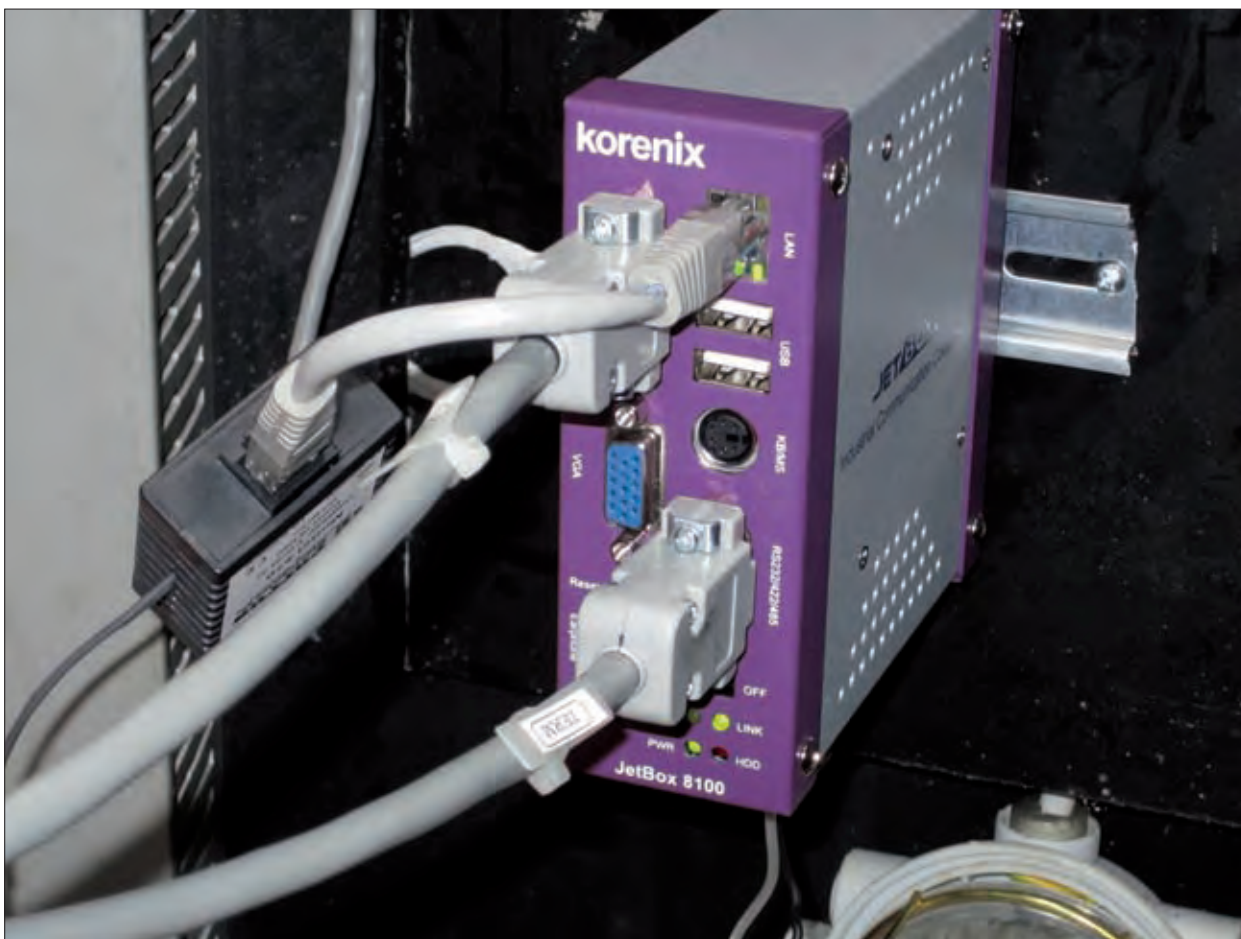
Tako velja, da imamo na lokaciji možnost izpada na komunikacijah brez izgube podatkov približno v trajanju od ene do dveh ur. V primeru daljšega izpada so starejši seizmični podatki izgubljeni. Zato smo v letu 2009 usmerili dejavnosti tudi v možnosti povečanja pomnilnika za shranjevanje podatkov na sami lokaciji potresne opazovalnice.

Analiza možnosti povečanja lokalnega pomnilnika

Za povečanje lokalnega pomnilnika na potresni opazovalnici obstaja več rešitev:

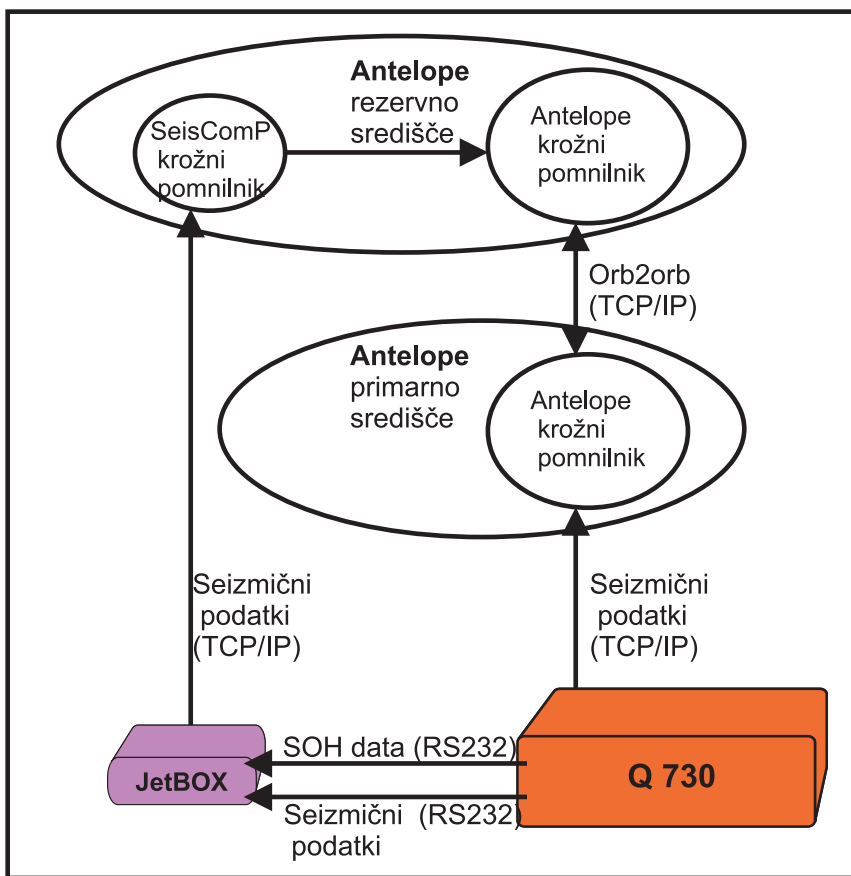
- zamenjava zajemalnih enot z novejšimi z večjim lokalnim pomnilnikom,
- namestitev zunanjega pomnilniškega modula, ki bo prejemal podatke iz enote Q730 preko komunikacije TCP/IP,
- namestitev zunanjega pomnilniškega modula, ki bo prejemal podatke iz enote Q730 preko serijskih vrat RS232.

Prva rešitev je najdražja. Same zajemalne enote Q730 so zelo kvalitetne. Ekvivalente zajemalne enote so izredno drage (od nekaj tisoč evrov naprej) in finančno težko uresničljive v kratkem času za vse potresne opazovalnice. Poleg tega bi z namestitvijo nove opreme vnesli tudi veliko neznanj v že obstoječi sistem, kar bi lahko povzročalo dodatne izpade podatkov. Rešitev pod točko b) je možna s programsko opremo Antelope (BRTT, 2010). Slabost te rešitve je, da bi podatki iz zajemalne enote prehajali na lokalni Antelope strežnik preko usmerjevalnika. V kolikor bi



Slika 1. Pomnilniški modul zajema seizmične in statusne podatke iz enote Q730 preko dveh serijskih vrat RS232 (vrata COM), v omrežje HKOM pa jih pošilja preko vrat Ethernet.

Figure 1. The »memory module« collects seismic and status data from the unit Q730 through two RS232 serial ports (COM ports). Data are sends to the network HKOM via an Ethernet port.



Slika 2. Shematski prikaz toka seizmičnih podatkov med potresno opazovalnico in središčem za obdelavo podatkov

Figure 2. Schematic flow of data between earthquake seismic observatory and data processing center

prišlo do okvare lokalnega usmerjevalnika ali okvare omrežne kartice na enoti Q730 (oboje se je že zgodilo), bi ostali brez podatkov. Zato je najbolj optimalna rešitev namestitev zunanega pomnilniškega modula, ki bi prejemal podatke iz enote Q730 preko serijskih vrat RS232. Prednost uporabe serijskih vrat RS232 je, da bi bili neodvisni od komunikacijskih omrežnih poti (TCP/IP).

Sam postopek analize in vrednotenja ključnih točk pri samem procesu vpeljave zunanega pomnilnika je potekal vzporedno in to v naslednjih korakih: analiza možnih nizko-cenovnih ali brezplačnih rešitev na medmrežju tako v strojni kot programski opremi, namestitev testnega sistema na osebni računalnik, analiza enote Q730, preučitev možnosti pošiljanja podatkov iz Q730 (poleg izhoda na Ethernet) tudi na serijska vrata (RS232), testiranje osnovnega sistema v laboratoriju, izposoja testnega pomnilniškega modula in namestitev programske opreme na ta modul, testiranje pomnilniškega modula v testnem okolju. Po testiranju je sledila analiza napak in optimizacija postopkov.

Za lokalno pomnilniško enoto smo imeli naslednje zahteve: za napajanje mora uporabljati 12VDC, poraba enote mora biti relativno nizka, omogočati mora zajemanje preko serijskih vrat RS232 (vrata COM) in komunikacijo preko protokola TCP/IP. Najbolj optimalno bi bilo, če bi delovala na operacijskem sistemu Linux, ki je brezplačen in stabilen. Po analizi tržišča smo ugotovili, da bi bil najbolj primeren za to nalogo modul JetBox 8100 s 160 GB velikim diskom, ki so ga ponujali tudi na slovenskem tržišču. Od ponudnikov smo si ga sposodili za testiranje.

Zajemalno enoto Q730 nam je uspelo konfigurirati tako, da pošilja podatke istočasno preko vrat COM (serijska vrata RS232) in preko vrat Ethernet, kar smo preverili s programsko opremo PCDS. PCDS je programska oprema, s katero lahko preverimo pretok podatkov iz enote Quanterra 730.

Za zajemanje podatkov na lokalnem modulu se je izkazala najbolj optimalna rešitev uporaba brezplačnega programa SeisComp (SEISCOMP, 2010), ki deluje v okolju Linux. SeisComp (Seismological Communication Processor) skupaj z vmesnikom Comserv omogoča zajemanje po-

daktov iz zajemalne enote Q730, shranjevanje v krožni pomnilnik in istočasno komunikacijo z Antelope. Konfiguracijo in delovanje smo najprej preverili na starejšem namiznem računalniku.

Nato smo testirali delovanje še na izposojenem pomnilniškem modulu. Ugotovili smo, da lahko izkoristimo še dodatna vrata COM (JetBox 8100 ima dvoje serijskih vrat RS232) za prenos statusnih datotek (SOH) iz zajemalne enote Q730, ki nam povedo stanje enote in so v primeru izpada komunikacije ravno tako izgubljene, ter za dostop v operacijski sistem enote Q730. Istočasno smo priredili še preprost časovni strežnik za pomnilniški modul ter dodali še skupino programov, ki je preverjala delovanje pomnilniškega modula in nas v primeru izpada delovanja opozorila preko e-pošte. Na pomnilniškem modulu vzporedno deluje še dodatni krožni pomnilnik, ki prenaša podatke v stvarnem času v center in hrani približno za 5 dni podatkov. Podatki iz zunanjega pomnilniškega modula se prenašajo v rezervno središče, kar zmanjša možnost izgube podatkov v primeru okvare osnovnega središča.

Poraba pomnilniške enote je okvirno 6 W, kar sicer zmanjša avtonomijo delovanja opazovalnice za 30 %, vendar to še vedno zagotavlja neprekinjeno delovanje v primeru izpada omrežne napetosti za več kot 24 ur.

Zaključek

Leta 2009 smo postavili prva pomnilniška modula na potresnih opazovalnicah LJU in CEY. Obe opazovalnici nista tipski potresni opazovalnici (Vidrih in sod., 2006), ampak so zajemalne enote v večji sobi, kar je omogočalo enostavnejšo postavitvev in lažjo kontrolo delovanja. Na potresni opazovalnici LJU deluje 6 kanalna zajemalna enota Q730, na potresni opazovalnici CEY pa 3 kanalna zajemalna enota Q730. Z dodatnim pomnilniškim modulom smo povečali shranjevanje podatkov na lokaciji na najmanj eno leto.

Prednosti delovanja pomnilniškega modula so naslednje: velika lokalna avtonomija pomnilnika, nizka cena v primerjavi z zamenjavo celotne zajemalne enote, preprosto vzdrževanje, komunikacija s programsko opremo Antelope v centru za obdelavo podatkov, avtomatski prenos seizmičnih podatkov je podaljšan iz ene ure na več kot štiri dni, komunikacija poteka z zajemalno enoto Q730 preko vrat COM.

Literatura

- Vidrih R., (Urednik), 2006, Državna mreža potresnih opazovalnic, Ljubljana : Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 2006.
- Quanterra, 1999, Quanterra Q730, Advanced Broad Band Remote Data Acquisition System, QUANTERRA, IINC.,325 Ayer Rd Harvard MA, USA, 1999.
- BRTT, <http://www.brtt.com/home.html> (zadnji dostop, 2010-09-27)
- SESICOMP, <http://geofon.gfz-potsdam.de/geofon//seiscomp> (zadnji dostop 2010-09-27)

PRIMERJALNI TEST INSTRUMENTOV

SIDE-BY-SIDE INSTRUMENTAL VERIFICATION

Izidor Tasič

Povzetek

Z umerjanjem merilne naprave se zagotovi točnost kazanja merilnika. Zaradi umerjanja izmerjena vrednost sovпада z dejanskim stanjem znotraj območja, ki ga proizvajalec za to napravo predpisuje. S primerjavo meritev različnih merilnikov preverimo ali vsi merilniki kažejo iste veličine. Vendar mora biti primerjava opravljena z umerjenim merilnikom ali pa vsaj z merilnikom višjega kakovostnega razreda. Razliko med primerjanjem med instrumenti istega kakovostnega razreda in primerjanjem instrumentov z referenčnim instrumentom, ki predstavlja instrument višjega kakovostnega razreda, bomo pokazali na primeru merilnikov Tromino na podlagi meritve, ki smo jo s temi instrumenti opravili na observatoriju Golovec. Pri tej meritvi smo za referenčni instrument uporabili sistem z dvema STS-2 seizmometroma.

Abstract

By calibrating the measuring device the accuracy of the measurements is ensured. Because of the calibration, the measured value corresponds to the actual situation within the area covered by the manufacturer. With measurement comparisons of different devices we can check whether all measuring devices show the same values. Yet the comparison has to be made with the calibrated device or at least with a device of higher quality class. The difference between the comparison of instruments of the same quality and the comparison of instruments with a reference instrument that belongs to the higher class will be shown by the Tromino device. Side-by-side measurements by these instruments were performed on the Observatory Golovec. As the reference, two STS-2 seismometers were used.

Uvod

Z merilno napravo merimo oziroma vrednotimo merjeno veličino. Merjenje je torej osnova za kvalitativni in kvantitativni opis stanja oziroma predmetov. Z umerjanjem (kalibriranjem) merilne naprave se zagotovi točnost kazanja merilnika in predstavlja dodano vrednost merilne naprave, saj z umerjanjem pridobimo zaupanje v merilnik. To pomeni, da smo zaradi umerjanja prepričani, da izmerjena vrednost sovпада z dejanskim stanjem znotraj območja, ki ga proizvajalec za to napravo predpisuje. Referenčna merilna oprema, s katero opravimo umerjanje, mora biti zato višjega razreda točnosti kot tista, ki jo umerjamo.

Kadar nimamo na voljo umerjene referenčne merilne opreme, si lahko pomagamo s preverjanjem. O preverjanju govorimo takrat, kadar primerjamo merjene naprave istih kvalitetnih razredov. Preverjanje se pogosto napačno enači z umerjanjem oziroma kalibriranjem. Za razliko od umerjanja pri preverjanju ne moremo ničesar sklepati o kvaliteti dobljenih rezultatov, saj nimamo referenčnega oziroma boljšega merila. S preverjanjem torej ne potrdimo točnosti merjenja merilne opreme, ampak samo natančnost meritev relativno med seboj. Je pa lahko primerjanje merilnikov istega razreda potencialni pokazatelj nepravilnega delovanja posameznega merilnika. Problem nastopi tedaj, če vsi oziroma večina merilnikov istega tipa sistematično kažejo napačno, kar posledično zavede uporabnika, da merilniki kažejo tudi točno. Zato je vedno pomembno, da je vsaj eden od merilnikov periodično preverjen z merilnikom višjega kvalitetnega razreda.

Poleg umerjanja z merilnikom višjega kvalitetnega razreda in preverjanja z merilnikom istega kvalitetnega razreda obstaja še preverjanje z merilnikom višjega kvalitetnega razreda, za kar bomo uporabili izraz primerjanje. Primerjanje opravljamo tedaj, kadar nimamo možnosti za umerjanja merilnikov (npr.: proizvajalec ni dal navodil).

Namen umerjanja je, da merilniki v enakih merilnih pogojih izmerijo iste vrednosti veličine kot referenčni merilnik znotraj območja, ki ga proizvajalec za to napravo predpisuje. Namen

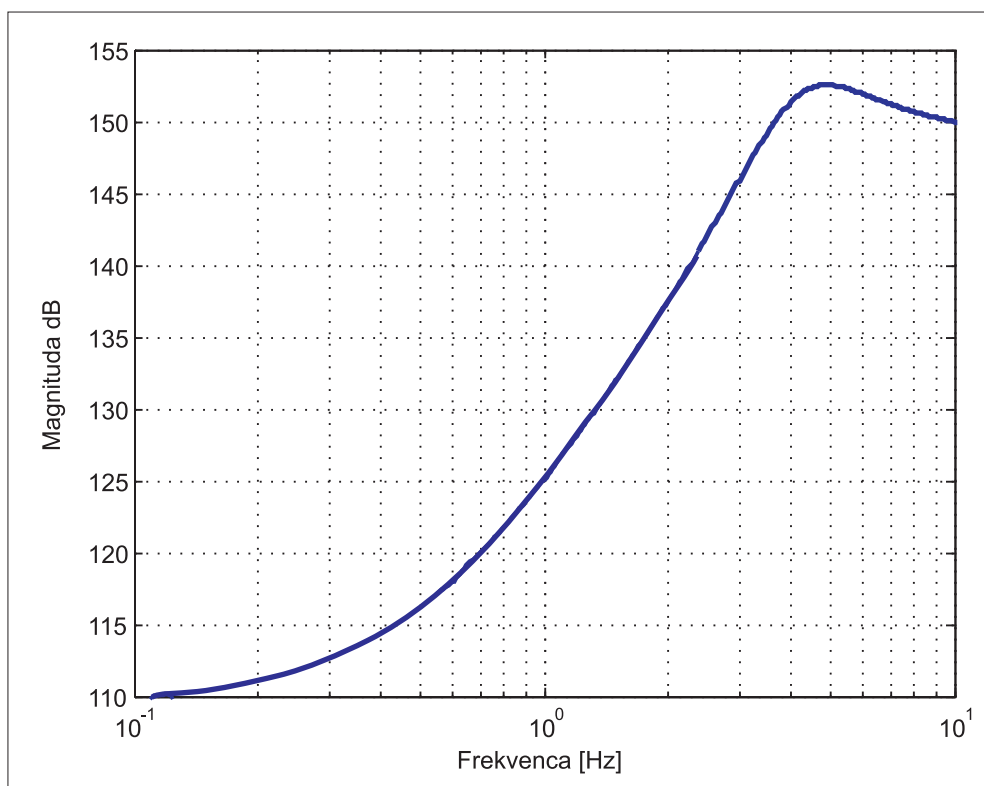
primerjanja merilnikov je, da ugotovimo, ali merilniki odstopajo od svojih vrednosti. V kolikor se z umerjanjem merilne naprave zagotovi njena točnost, se s primerjanjem njena točnost samo preveri.

Razliko med primerjanjem in preverjanjem bomo pokazali na primeru merilnikov Tromino. Primerjalne meritve smo opravili na observatoriju Golovec v Ljubljani na betonskem stebri, ki je v neposrednem stiku s trdno kamnino (permokarbonski skrilavci in peščenjaki). S temi meritvami smo preverili njihovo točnost in natančnost. Za vhodni seizmični signal smo uporabili kar seizmični šum. V seizmologiji so primerjane meritve, kjer se za določitev karakteristik seizmološke opreme uporablja seizmični šum mikrolokacije, najbolj pogoste (Pavlis in Veron, 1994; Holcom 1989, Slemman in ostali, 2006).

Meritev na observatoriju na Golovcu

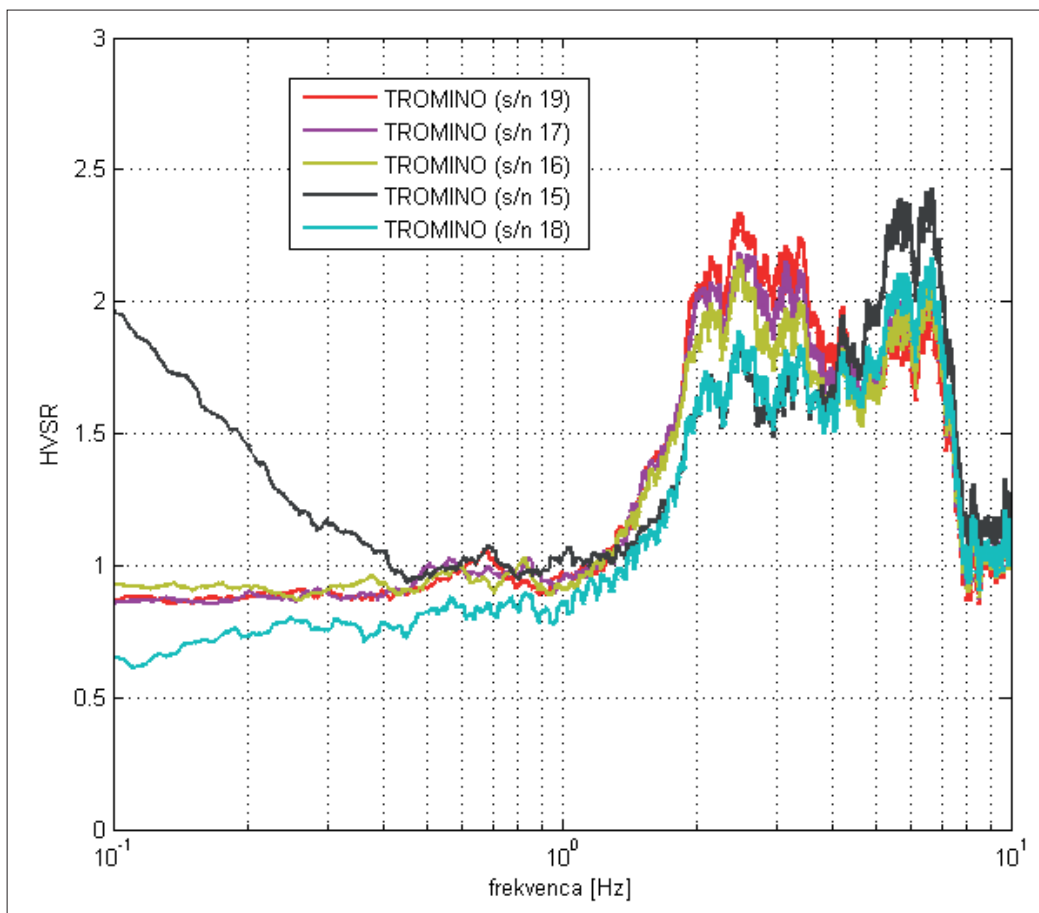
Pri merilnikih, ki se uporabljajo pri metodi spektralnega razmerja med vodoravnima in navpično komponento HVSR (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio) mikrotremorjev, kot so recimo instrumenti Tromino (Tromino, 2010 a) ter seizmometri Lennartz LE-3D/5s (Lennartz, 2010), pričakujemo, da bodo vsi merilniki, ki merijo istočasno na istem merilnem mestu v termično stabilnem okolju, kazali na frekvenčnem območju, ki ga je definiral proizvajalec, enako krivuljo HVSR oz., da bo odstopanje med njimi zanemarljivo majhno.

Na observatoriju na Golovcu smo istočasno naredili primerjalne meritve petih Tromino instrumentov ter seizmometra LE-3D/5s (priključenim na PR6 enoto (EarthData, 2010)) z dvema instrumentoma višjega kakovostnega razreda, t.j. s seizmometroma STS-2 (eden je bil priključen na enoto PR6, drugi na enoto Q730). Seizmometri STS-2 podjetja Streckeisen iz Švice so vrhunski širokopasovni seizmometri, s pasovno širino med 0,0083 Hz in 50 Hz. Ti seizmometri zaradi svoje konstrukcije niso primerni za meritve HVSR na terenu, primerni pa so za uporabo v laboratoriju



Slika 1. Generična prenosna funkcija za testirane instrumente Tromino, ki je vgrajena v programsko opremo GRILLA.

Figure 1. Generic transfer function for tested Tromino instruments built in the GRILLA software.



Slika 2. »Preverjanje« petih instrumentov Tromino med seboj.

Figure 2. »Comparative« measurement of five Tromino systems between each other.

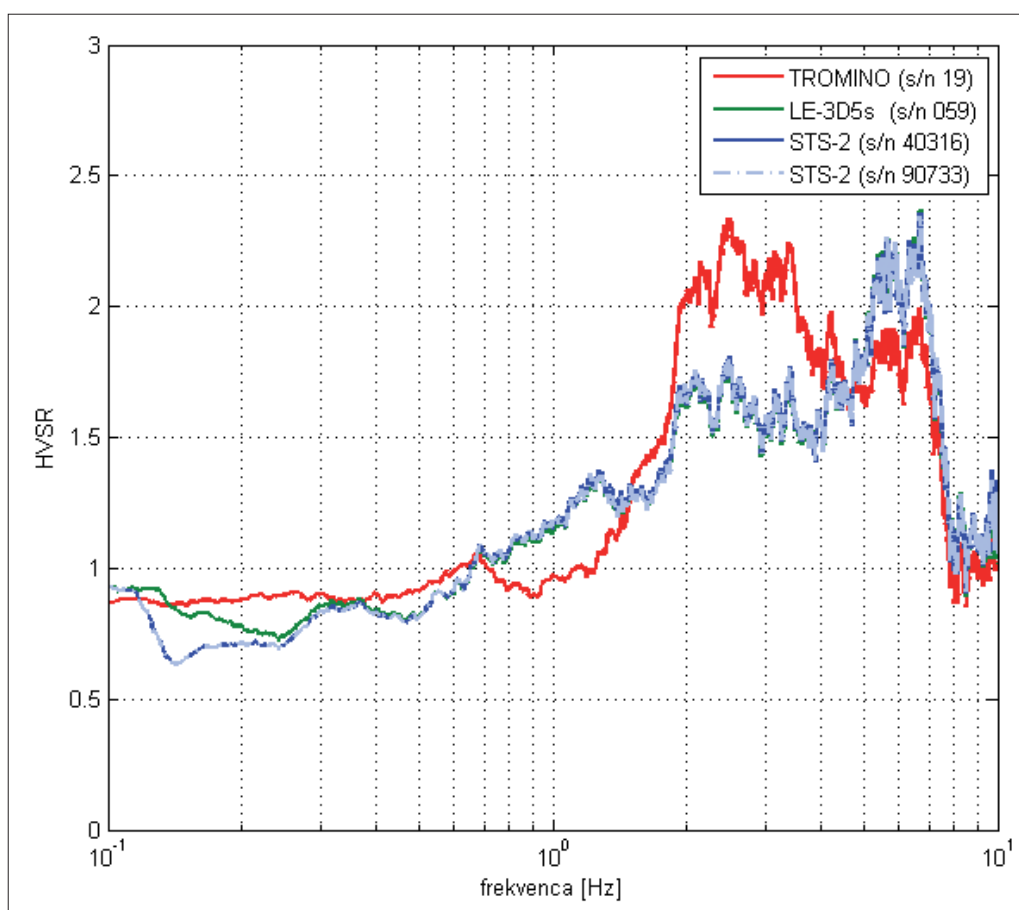
kot referenčni sistemi. Instrumenti Tromino so zajemali podatke z 256 vzorci na sekundo, drugi instrumenti pa z 200 vzorci na sekundo. Krivulje HVSR smo analizirali na frekvenčnem območju med 0,1 Hz in 10 Hz. Oba sistema s seizmometroma STS-2 sta na tem frekvenčnem območju imela zelo podobne krivulje HVSR, zato bomo te krivulje imeli za referenčne in bomo v nadaljevanju prikazovali samo HVSR enega sistema s seizmometrom STS-2.

Instrumenti Tromino

Instrumente Tromino proizvaja podjetje Micromed iz Italije. Uporabljajo se za merjenje spektralnega razmerja med vodoravnima in navpično komponento mikrotremorjev. Vgrajene ima tri med seboj pravokotno postavljene elektrodinamične hitrostne senzorje, interni sprejemnik GPS in analogno-digitalni pretvornik s spominsko kartico. Testirani instrumenti Tromino so prva generacija instrumentov tega proizvajalca. Proizvajalec trdi, da je v kasnejših generacijah vgrajen nekoliko drugačen senzor in drugačna elektronika, ki naj bi izboljšala nekatere parametre, kot je recimo lastni šum instrumenta in spremenjeno kritično dušenje senzorjev. Vzorčenje je nastavljivo in ga izbiramo med 128, 256 in 512 vzorci na sekundo. Vsi deli so integrirani v skupnem ohišju. Programska oprema GRILLA istega proizvajalca skrbi za zajemanje podatkov iz Tromina in njihovo obdelavo. O značilnostih senzorjev proizvajalec ne poda veliko informacij, vendar lahko določene značilnosti izluščimo iz programskega paketa GRILLA. Prenosna funkcija senzorja dobljena iz programskega paketa GRILLA, je na sliki 1 in je enaka za vse tri komponente instrumenta Tromino. Pri visokih frekvencah je prenosna funkcija ekvivalentna pod-kritično dušenemu 4,5 Hz geofonu.

Preverjanje instrumentov istega tipa med seboj

Slika 2 prikazuje krivulje HVSR za pet instrumentov Tromino s serijskimi številkami s/n 15, 16, 17, 18 in 19, kjer pri izračunu nismo upoštevali vpliva prenosnih funkcij. S to sliko predstavimo preverjanje merilnikov istega kvalitetnega razreda med seboj. Na sliki zato namenoma ni prikazanih krivulj seizmometrov STS-2 in LE-3D/5s. Glede na to, da slika 2 prikazuje merilnike istega tipa, lahko sklepamo pravzaprav samo sledeče: merilniki s serijskimi številkami 19, 17 in 16 merijo podobno (ne enako), merilnika s serijskima številka 15 in 18 pa prikazujeta drugačni HVSR krivulji. Na podlagi slike 2 ne vemo nič o pravilnosti oziroma točnosti krivulj HVSR, ker nimamo poleg prikazane še referenčne vrednosti. Samo na podlagi slike 2 lahko zmotno sklepamo, da so merilniki 19, 17 in 16 pravilno umerjeni.



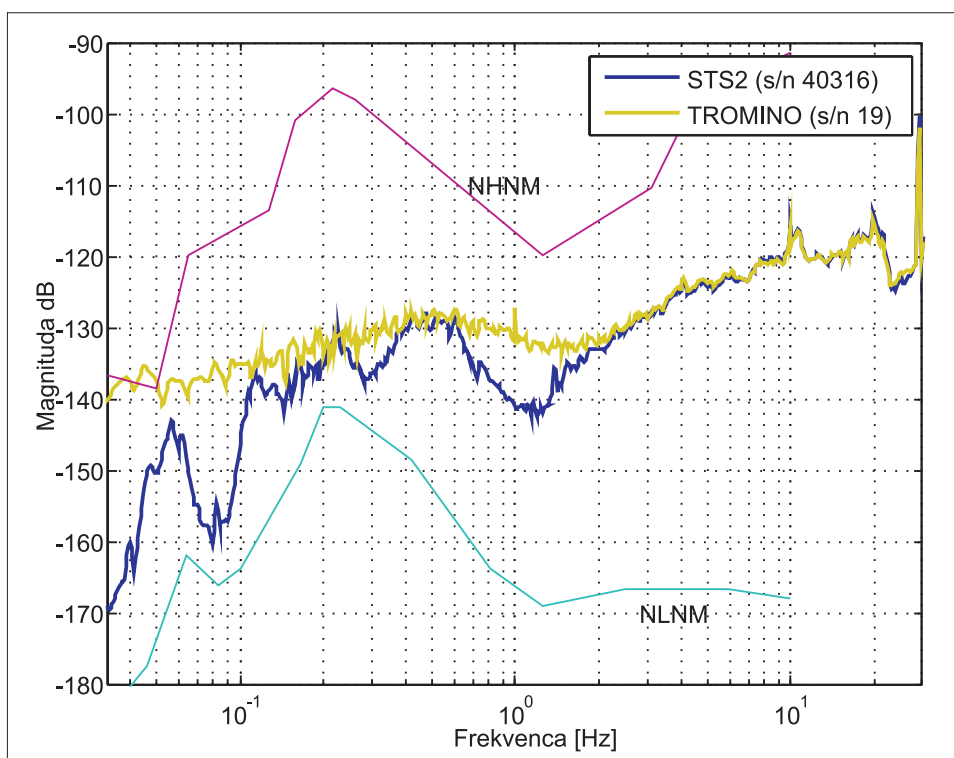
Slika 3. Primerjalna meritev štirih različnih sistemov: seizmometer LE-3D/5s (s/n 059) z zajemalno enoto PR6 in instrument Tromino (s/n 19) ter referenčna sistema s seizmometroma STS-2.

Figure 3. Comparative measurement of four different seismological systems: LE-3D/5s (s/n 059) seismometer with the acquisition unit PR6 and Tromino instrument (s/n 119) where two STS-2 seismometers are used as references.

Primerjalna meritev z referenčnim sistemom

Slika 3 kaže krivulje HVSR treh različnih instrumentov: seizmometra LE-3D/5s z zajemalno enoto PR6, instrumenta Tromino (s/n 19) in referenčnega merilnega sistema, ki ga predstavlja seizmometer STS-2 z zajemalno enoto Q730. Instrument Tromino s/n 19 spada v skupino treh instrumentov, ki so na sliki 2 imeli podobne HVSR krivulje. Zaradi bolj nazorne predstavitve je na sliki 3 prikazan samo en predstavnik iz te skupine. Seizmometer LE-3D/5s odstopa od referenčne meritve pri frekvencah pod 0,25 Hz. Nad to frekvenco se HVSR ujema z referenčnim. Krivulja

HVSR instrumenta Tromino s/n 19 bistveno odstopa od drugih dveh, od referenčne kakor tudi od LE-3D/5s seizmometra. Ta merilnik smo analizirali s pomočjo referenčnega sistema in rezultati so prikazani v nadaljevanju.



Slika 4. Spekter moči signala (PSD) za navpično komponento seizmometra STS-2 in instrumenta TROMINO (s/n 19). Pod frekvenco 2 Hz je lastni šum instrumenta Tromino večji kot je signal seizmičnega nemira.

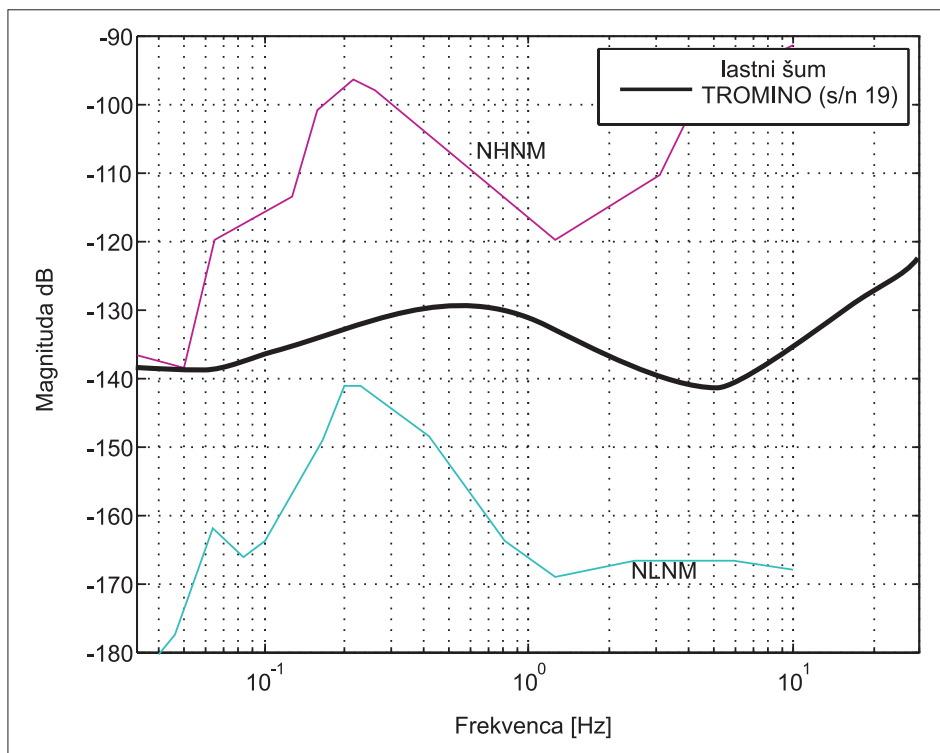
Figure 4. Power spectrum density (PSD) for the vertical component of STS-2 seismometer and Tromino instrument (s/n 19). Under the frequency of 2 Hz is the instrument's self-noise greater than the signal of the seismic noise.

Lastni šum instrumenta Tromino

Slika 4 prikazuje spekter moči signala (PSD) na navpični komponenti za seizmometer STS-2 in za TROMINO s/n 19. Slika pokaže, da je pod frekvenco 2 Hz lastni šum instrumenta Tromino večji, kot je signal seizmičnega nemira, saj postane PSD pod to frekvenco za instrument Tromino večji od PSD-ja za instrumenta STS-2. Velik lastni šum instrumenta je torej kriv za neujemanje HVSR krivulj pri nizkih frekvencah kot je razvidno s slike 3. S pomočjo tri kanalne analize (Sleeman in ostali, 2006) izračunamo še lastni šum nad to frekvenco (slika 5). Lastni šum instrumenta Tromino s/n 19 je na vsem frekvenčnem območju večji kot je NLNM (Peterson, 1993) in je izrazito večji, kot ga prikazujejo proizvajalci na reklamnem prospektu (Tromino, 2010 b).

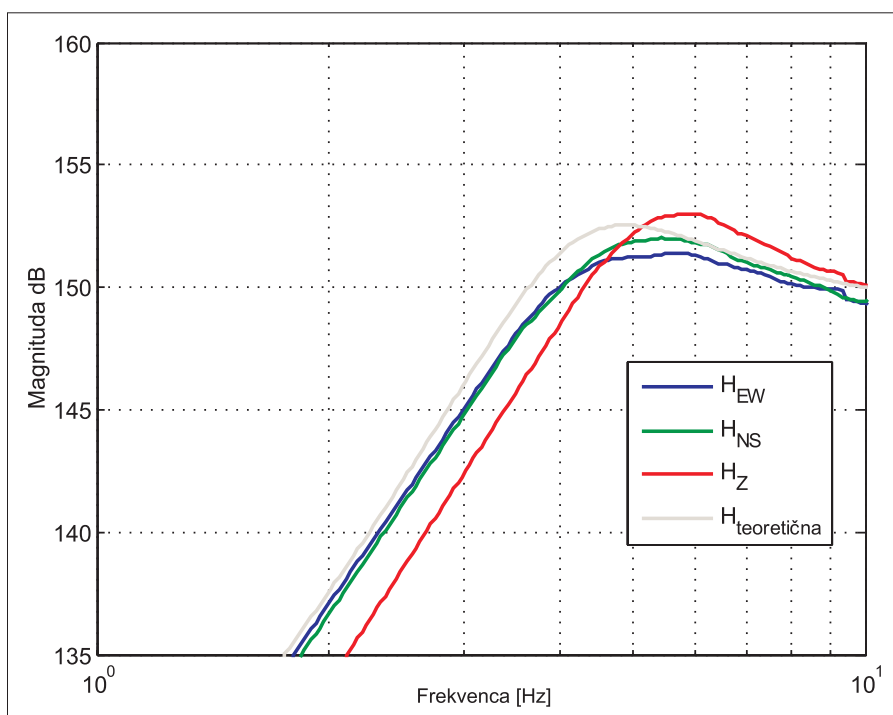
Prenosne funkcije senzorjev, vgrajenih v instrumentu Tromino 19

Prenosna funkcija posameznih komponent instrumenta Tromino s/n 19 je prikazana na sliki 6. Prenosna funkcija sensorja, ki meri nihanje tal v navpični smeri, se pomembno razlikuje od prenosnih funkcij senzorjev, ki merita v vodoravni ravnini. Če pri izračunu krivulje HVSR prenosnih funkcij posameznih komponent ne upoštevamo, dobimo na frekvenčnem območju med 3 in 7 Hz odstopanje od dejanske HVSR, tako kot je to prikazano na sliki 3. (Vpliva prenosne funkcije pod 3 Hz pri tej meritvi ne moremo oceniti, nad 7 Hz pa je potrebno popraviti samo generatorsko konstanto.) Programski paket GRILLA (vključno z verzijo 4) še ne omogoča vključitev uporabnikove prenosne funkcije. Slika 7 prikazuje krivuljo HVSR, če imamo pri tem instrumentu na vseh treh



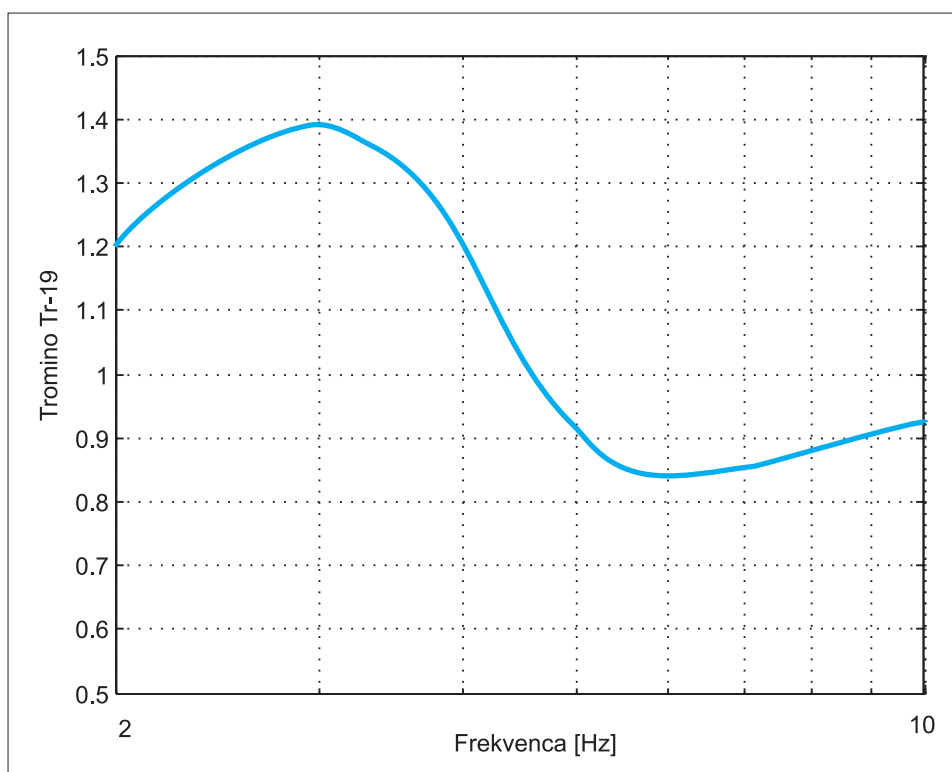
Slika 5. Ocena lastnega šuma instrumenta TROMINO s/n 19, ki smo ga izračunali s tri-kanalnim postopkom (Sleeman in ostali, 2006).

Figure 5. Evaluation of the TROMINO s/n 19 instrument's self-noise calculated by a three-channel method (Sleeman and all, 2006).



Slika 6. Prenosne funkcije senzorjev, vgrajene v instrument Tromino s/n 119. Za primerjavo je zraven podana še teoretična prenosna funkcija (slika 1)

Figure 6. Transfer functions of vertical and two horizontal sensors, built in instrument Tromino (s/n 119), together with generic transfer function (figure 1).



Slika 7. Krivulja HVSR instrumenta Tromino s/n 19, če imamo na vseh treh vhodnih kanalih enak seizmični signal.

Figure 7. HVRS curve of Tromino instrument (s/n 19), if input is the same seismic signal on all three channels.

vhodnih kanalih enak signal in prikazuje vpliv prenosnih funkcij. Pri frekvenci 3 Hz se dejanski HVSR pomnoži z vrednostjo skoraj 1,4, pri frekvenci 6,5 Hz pa z vrednostjo 0,85.

Usklajenost merjenja petih instrumentov TROMINO

Slika 2 prikazuje HVSR za pet instrumentov Tromino s serijskimi številkami s/n 15, 16, 17, 18 in 19. Analizo za instrument s/n 19 smo že opravili. S pomočjo referenčnega instrumenta lahko analiziramo tudi ostale merilnike Tromino.

Instrumenti s/n 19, s/n 17 in s/n 16 so skoraj usklajeni med seboj in imajo skoraj usklajeno odstopanje v prenosnih funkcijah med navpičnimi in vodoravnimi senzorji. Za te instrumente veljajo torej podobne ugotovitve kot za instrument s serijsko številko s/n 19.

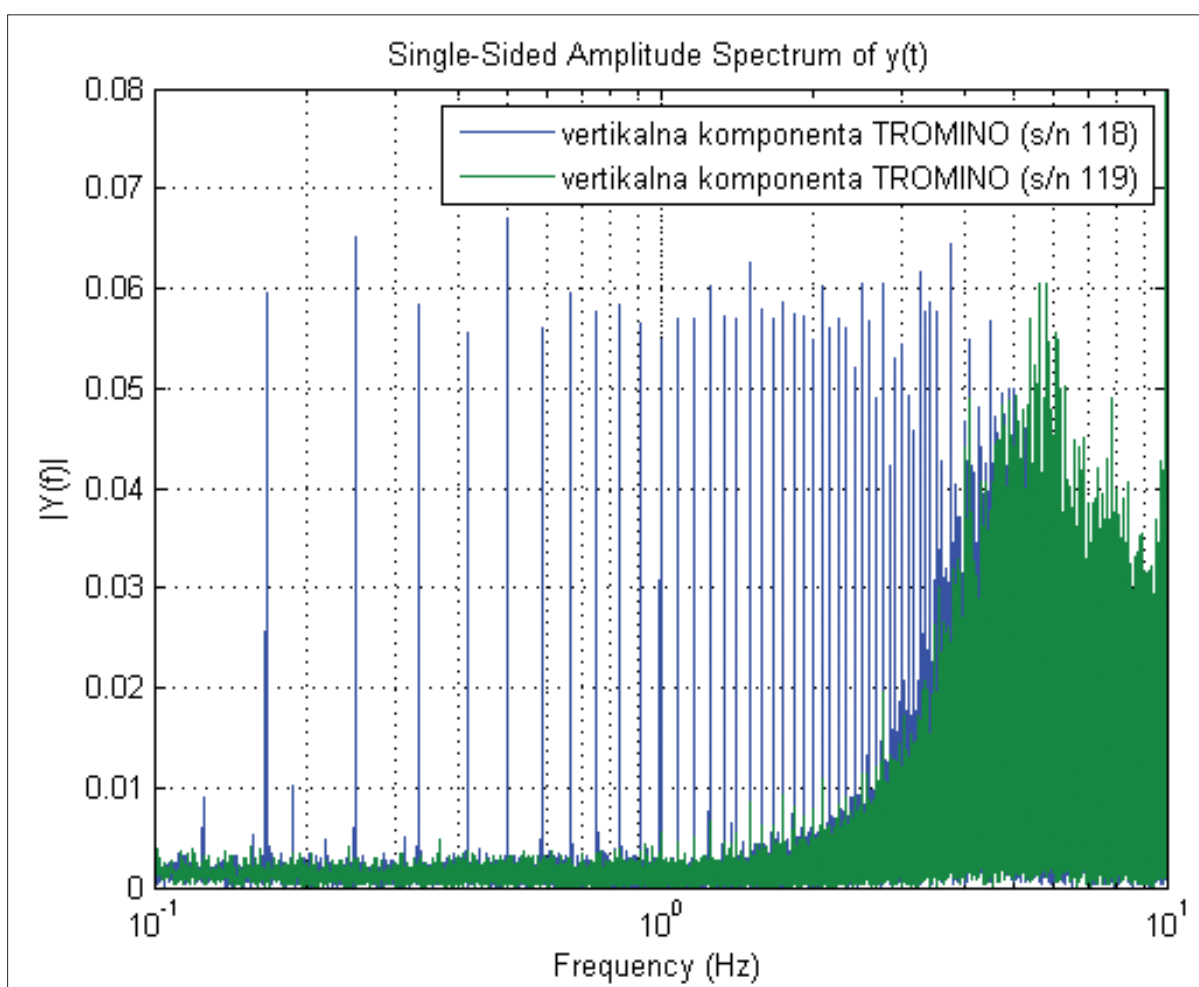
Krivulja HVSR instrumenta Tromino s/n 15 se nad frekvenco 0,5 Hz približa HVRS krivulji referenčnega instrumenta (slika 2). Komponenta, postavljena v smeri E-W, ima zelo velik lastni šum pri frekvencah pod 0,5 Hz. Zaradi neznane konstrukcije merilnika samo na podlagi meritve ne moremo ugotoviti, ali je vzrok senzor ali pretvornik A/D. Pri vseh treh senzorjih je »mirovna lega« premaknjena iz centra, predvsem mirovna lega E-W komponente. (preglednica 1). Ali je to razlog za večji lastni šum in kako to vpliva na linearnost sistema, ne vemo, ker ne poznamo konstrukcije instrumenta (ne vemo, katere vrednosti so še dopustne).

Pri instrumentu Tromino s/n 18 so odstopanja v prenosnih funkcijah najmanj izrazita. Prenosne funkcije v vseh treh komponentah so si med seboj podobne. Analiza navpičnih komponent pa pokaže na motnjo pri tem instrumentu (slika 8). Ta komponenta ima okvaro, ki vpliva na meritve, tako da navidezno poveča šum pri nizkih frekvencah. Zaradi konstrukcije instrumenta ne vemo, ali je vzrok senzor ali elektronika. Okvara se pri površni analizi lahko izmuzne, če pri analizi uporabimo »glajenje« spektra.

Preglednica 1. »Mirovna lega« pri instrumentih Tromino.

Table 1. »Zero position« for Tromino instruments.

komponenta / component	s/n 19	s/n 18	s/n 17	s/n 16	s/n 15
	digitalna vrednost/ digital value [counts]	digitalna vrednost/ digital value [counts]	digitalna vrednost/ digital value [counts]	digitalna vrednost/ digital value [counts]	digitalna vrednost/ digital value [counts]
E – W	0	74	45	95	208
N – S	0	37	73	103	155
Z	0	9	124	80	182



Slika 8. Amplitudni spekter navpične komponente za instrumenta Tromino s/n 18 in s/n 19.

Figure 8. Amplitude spectrum for vertical component of instruments Tromino s/n 18 and 19.

Zaključek

Pravilna interpretacija meritev temelji na točnih in natančnih meritvah. Točne in natančne meritve zagotovimo tedaj, kadar so merilniki umerjeni. Kadar nimamo možnosti za umerjanje merilnikov, je primerno, da določimo interval periodičnega preverjanja merilnikov med seboj, pri čemer izberemo enega od merilnikov za primarnega, ki pa ga moramo uskladiti z referenčnim merilnikom. Če nimamo usklajenega primarnega merilnika, ne vemo nič o točnosti meritev.

Literatura

- EarthData, 2010: <http://www.earthdata.co.uk/pr6-24.html> (zadnjič dostopno 2010-09-27)
- Holcomb, G. L., 1989. A direct method for calculating instrument noise levels in side-by-side seismometer evaluations. Open-file Report 89-214, U. S. Geological Survey.
- Lennartz, 2010: Lennartz Electronic GmbH, Germany:
<http://www.lennartz-lectronic.de/MamboV4.5.2/index.php> (zadnjič dostopano 2010-09-29).
- Pavlis G. L., Vernon F. L., 1994. Calibration of seismometers using ground noise. *Bull. Seism. Soc Am.* 84, 1243-1255.
- Sleeman, R., van Wettum, A., Trampert J., 2006. Three-channel correlation analysis: A new technique to measure instrumental noise of digitizers and seismic sensors. *Bull. Seism. Soc Am.* 96, 258-271.
- Peterson, J., 1993. Observations and modelling of background seismic noise. Open-file report 93-322, U. S. Geological Survey, Albuquerque, New Mexico.
- Tromino, 2010 a: <http://www.TROMINO.it>, (2010-07-20).
- Tromino, 2010 b: <http://www.TROMINO.it/noisecurves.htm>, (2010-07-20).

POTRESI V SLOVENIJI LETA 2009

EARTHQUAKES IN SLOVENIA IN 2009

Ina Cecić, Tamara Jesenko, Mladen Živčić, Martina Čarman

Povzetek

Potresna aktivnost v letu 2009 je bila zmerna. Prebivalci so čutili več kot 32 potresnih sunkov. Potres z največjo intenziteto je bil 27. oktobra ob 19. uri 24 minut po univerzalnem koordiniranem času (UTC) oziroma ob 21. uri 24 minut po srednjeevropskem času (SEČ) z žariščem v bližini Rateč. Njegova lokalna magnituda je bila 2,0 (ARSO, 2009-2010), največja intenziteta pa V EMS-98. Največjo lokalno magnitudo 2,9 je imel potres 23. januarja ob 3. uri 27 minut po UTC (4. uri in 27 minut po SEČ) pri Dobrovi. V Sloveniji smo čutili tudi nekatere potrese, ki so se zgodili v Italiji, med katerimi je najmočnejši, 6. aprila, razdejal mesto L'Aquila in okoliške kraje.

Abstract

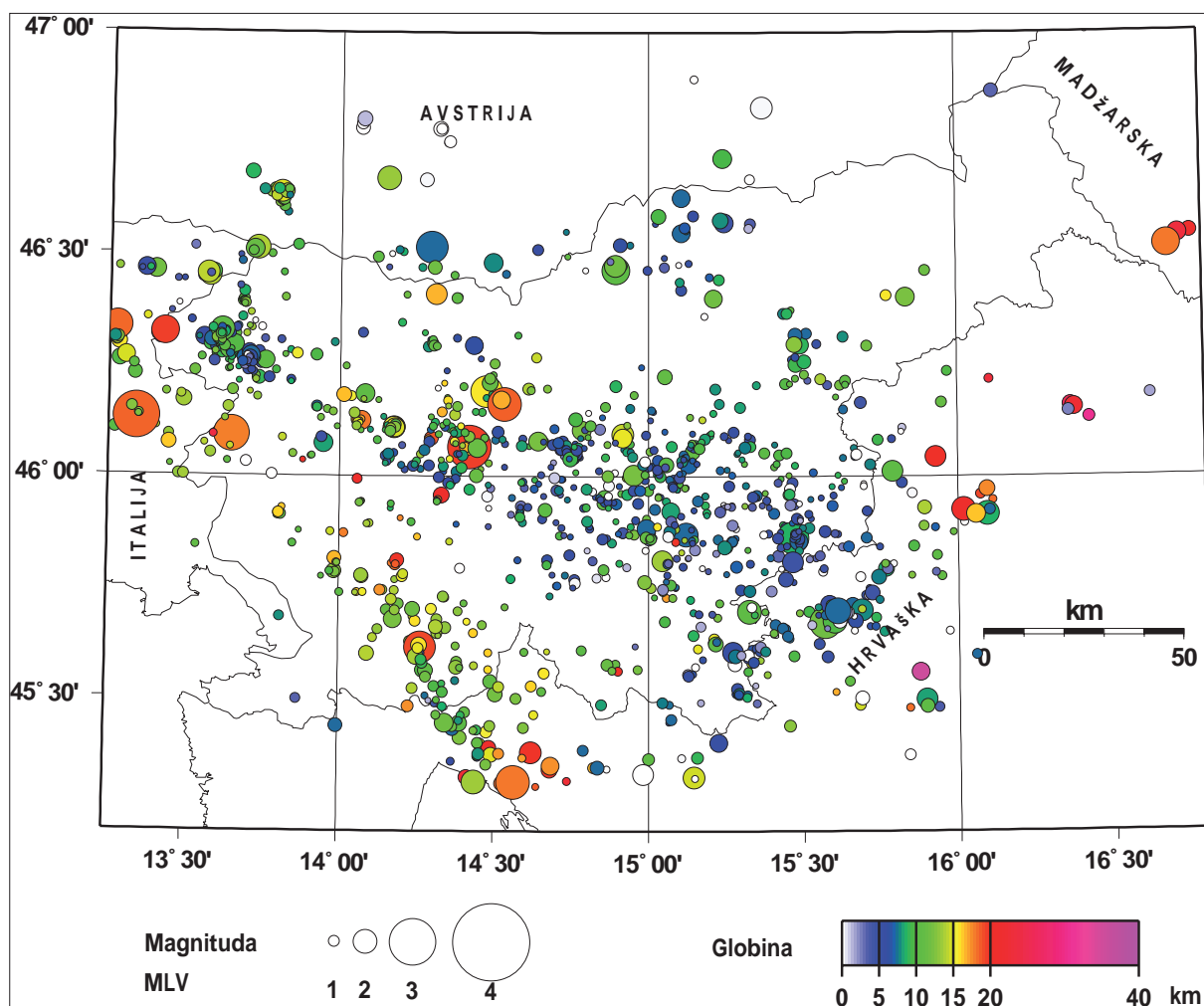
Earthquake activity was moderate in 2009. The inhabitants felt more than 32 earthquakes. The strongest earthquake according to its maximum intensity was on 27 October at 19.24 UTC (21.24 Central European daylight saving time / CET) in the vicinity of Rateče. Its local magnitude was 2.0 (ARSO, 2009-2010), and the highest intensity V EMS-98. On 23 January at 3.27 UTC (4.27 CET) there was the strongest earthquake in Slovenia in 2009 according to its local magnitude (2.9). Several earthquakes from Italy were felt as well, the strongest among them being the one on 6 April that devastated L'Aquila and its surroundings.

Uvod

Potresna aktivnost v letu 2009 v Sloveniji je bila zmerna (ARSO, 2009-2010). Po januarjskih potresih pri Kanalu, Ljubljani, Novem mestu in Dobrovi se je februarja zatreslo najprej pri Dolu, potem pri Brežicah, Brezovici pri Metliki in Kostanjevici na Krki. Februarja smo zabeležili zanimiv niz potresov pri Gorenji vasi in ga opisujemo v posebnem prispevku (Čarman in sod., 2010). V marcu prebivalci niso čutili nobenega potresa. Aprila so sledili potresi v srednji Italiji, najmočnejši izmed njih je podrobneje opisan v posebnem prispevku (Cecić in Godec, 2010). Poleg omenjenih so prebivalci čutili tudi potres blizu Dobljč. Maja so tresenje tal čutili v okolici Prevalj, Črne na Koroškem in Šmarjeških Toplic. Junija potresov, ki bi jih prebivalci čutili, ni bilo. Julija so prebivalci Slovenije čutili le en potres, ki se je zgodil v bližini Ilirske Bistrice. V avgustu smo zabeležili potresa pri Mengšu in Bednju, septembra se je treslo pri Črnomlju. Oktobra so potrese čutili prebivalci v okolici Vodice, Rateč in Podkorena. V Sloveniji je leta 2009 največje potresne učinke dosegel potres, ki se je zgodil 27. oktobra ob 19. uri 24 minut po svetovnem koordiniranem času (UTC) oz. ob 21. uri 24 minut po srednjeevropskem času v bližini Rateč. Njegova lokalna magnituda je bila 2,0 (ARSO, 2009-2010), največja intenziteta pa V EMS-98 v Ratečah. Kratica EMS-98 je okrajšava za evropsko potresno lestvico (Grünthal, 1998a, 1998b), rimska številka pred njo pa pove stopnjo intenzitete, tako niz 'IV-V EMS-98' lahko preberemo 'od četrte do pete stopnje po evropski potresni lestvici'. Prebivalci so v naslednjih dneh čutili tudi več šibkih popotresov, zadnjega v začetku novembra. Novembra smo zbirali podatke o potresih pri Kobaridu in Muljavi. V decembru so prebivalci čutili tri potrese: dva v zgornjem Posočju in enega v obmejnem območju Furlanije.

Seizmografi državne mreže potresnih opazovalnic so leta 2009 zabeležili 1298 potresov z žariščem v Sloveniji, katerim smo lahko določili lego žarišča in lokalno magnitudo (slika 1). Velikost lokalne magnitude je ponazorjena z velikostjo kroga, medtem ko barva označuje globino potresnega žarišča.

Prebivalci različnih območij Slovenije so v letu 2009 čutili več kot 32 potresnih sunkov. »Več kot« zato, ker so opazovalci v svojih opisih včasih podali le opažanja, ki se jih ni dalo pripisati



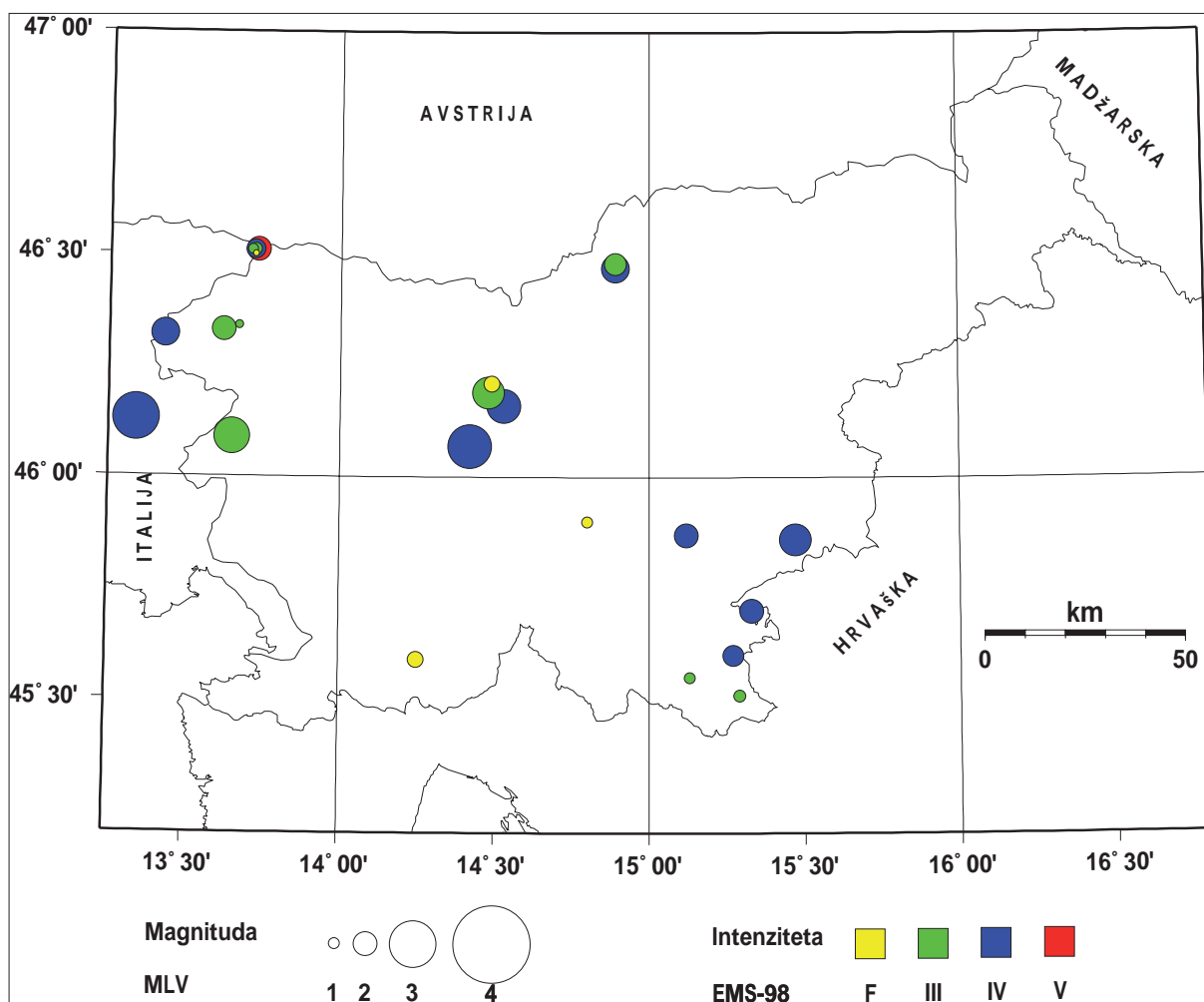
Slika 1. Nadžarišča potresov v letu 2009, ki smo jim določili žariščni čas, koordinati nadžarišča in globino žarišča. Barva simbola ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude MLV. Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Figure 1. Distribution of epicentres in 2009, whose focal times, epicentral coordinates and focal depths were calculated; coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude MLV. Figure was prepared using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

točno določenem dogodku, npr. »po glavnem sunku smo čutili še več manjših«. Nadžarišča (epicentri) 28-ih potresov so prikazana na sliki 2. Velikost kroga označuje velikost lokalne magnitude, barva pa največjo intenziteto potresa, ki jo je potres dosegel. En potres je dosegel največjo intenziteto V EMS-98. Preostali štirje potresi so naštetni v preglednici 2.

V preglednici 1 smo podali osnovne podatke 75-ih lokalnih potresov z opredeljeno lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 ter 11 šibkejših potresov, ki so jih prebivalci Slovenije čutili. Za vsak potres posebej smo navedli datum (leto, mesec, dan), žariščni čas (h:m:s UTC), koordinati nadžarišča (z. šir. °N, z. dolž. °E), žariščno globino (h km), povprečno vrednost lokalne magnitude (M_{LV}), povprečno vrednost magnitude M_D , največjo intenziteto (I_{max} EMS-98), ki jo je potres dosegel v Sloveniji, število opazovalnic (nst), ki so prispevale podatke, in celotno napako (kvadratni koren srednje kvadratne napake RMS v sekundah) pri izračunu žariščnega časa. V stolpcu »Potresno območje« smo za epicentre v Sloveniji v večini primerov podali ime naselja, ki je najbližje določenemu nadžarišču in je navedeno v seznamu naselij Geodetske uprave RS (RGU, 1995).

Za opredelitev osnovnih parametrov potresov, podanih v preglednici 1 smo uporabili vse razpoložljive analize potresov zabeleženih na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji



Slika 2. Nadžarišča potresov, ki so jih v letu 2009 čutili prebivalci Slovenije. Barva simbola ponazarja največjo doseženo intenziteto v Sloveniji, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude MLV. Slika je bila narejena s programom GMT (Wessel in Smith, 1991, 1998).

Figure 2. Epicentres of earthquakes felt in Slovenia in 2009. Size of symbols represents local magnitude and colour represents maximal intensity. Figure was prepared using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998).

(ARSO, 2009-2010) ter v Avstriji (ZAMG, 2009-2010), na Hrvaškem (GZAM, 2009-2010) in v Italiji (OGS, 2009). Žariščni čas (čas, ko je potres nastal), koordinati nadžarišča in žariščno globino smo opredelili iz časov prihodov vzdolžnega (P) in prečnega (S) valovanja na potresno opazovalnico. Potrese smo locirali s programom HYPOCENTER (Lienert in sod., 1988; Lienert, 1994). Uporabili smo povprečni hitrostni model za ozemlje Slovenije, opredeljen iz tridimenzionalnega modela za prostorsko valovanje (Michelini in sod., 1998), in model za površinsko valovanje (Živčić in sod., 2000). Pri potresih, za katere smo lahko določili le koordinati nadžarišča, smo za žariščno globino privzeli 7 km.

Lokalno magnitudo potresov (M_{LV}) smo opredelili iz največje hitrosti navpične komponente nihanja tal (A/T v nm/s) na potresnih opazovalnicah državne mreže v Sloveniji po enačbi:

$$M_{LV} = \log(A/T) + 1,52 \log D - 3,2$$

kjer je D oddaljenost nadžarišča v kilometrih. V preglednici 1 je podana povprečna vrednost M_{LV} vseh opazovalnic.

Magnitudo M_D smo opredelili iz trajanja zapisov potresov na opazovalnicah državne mreže v Sloveniji in INOGS mreže potresnih opazovalnic v Furlaniji. Pri tem smo uporabili enačbo:

$$M_D = 2,22 \log(t) - 1,465$$

kjer je t trajanje zapisa potresa v sekundah (Rebez in Renner, 1991).

Največja intenziteta (I_{max}), ki jo je potres dosegel na ozemlju Slovenije, je opredeljena po evropski potresni lestvici (EMS-98). Kadar podatki niso zadoščali za nedvoumno določitev intenzitete, smo privzeli razpon možnih vrednosti (npr. IV-V).

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2009, ki imajo lokalno magnitudo večjo ali enako 1,5 in smo jim lahko izračunali žariščni čas, koordinati nadžarišča (epicentra) in globino žarišča. Pri nekaterih potresih je navedena še največja intenziteta. V preglednici je tudi 11 potresov sicer manjšo lokalno magnitudo, ki pa so jih prebivalci Slovenije čutili.

Table 1. List of earthquakes with $MLV \geq 1,5$ in 2009 for which the hypocentral time, co-ordinates of epicentre and focal depth were calculated; the maximum intensity of felt earthquakes is also provided. Information about 11 earthquakes with weaker magnitude, that were felt by inhabitants of Slovenia, is also included.

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s			EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		s			EMS 98	
3. 1. 2009	9:1:23,4	46,09	13,65	18	64	0,4	2,6	3,0	III	Kanal
3. 1. 2009	18:54:31,1	46,19	14,48	16	51	0,4	2,4	2,5	III	Torovo
8. 1. 2009	10:46:58,5	46,03	15,13	7	23	0,2	1,6			Kal pri Krmelju
12. 1. 2009	15:40:19,2	46,13	14,07	18	25	0,3	1,7	2,0		Kopačnica
16. 1. 2009	3:40:0,8	46,48	14,50	8	15	0,2	1,7	1,9		Ebriach, Avstrija
20. 1. 2009	0:35:33,5	45,87	15,12	7	35	0,5	2,0	2,2	IV	Mali Kal
20. 1. 2009	23:4:55,1	46,55	15,11	7	13	0,4	1,6			Pameče
23. 1. 2009	3:27:59,6	46,07	14,42	19	46	0,5	2,9	3,1	IV	Šujica
27. 1. 2009	12:32:56,6	46,19	14,08	10	22	0,3	1,7	2,1		Zala
30. 1. 2009	13:39:54,3	46,57	15,25	4	5	0,1	1,7			Sv. Anton na Pohorju
3. 2. 2009	2:30:34,5	46,45	13,57	14	42	0,5	1,9	2,3		Cave del Predil, Italija
6. 2. 2009	1:40:53,6	45,86	15,49	4	7	0,2	1,3		zvok	Dol
6. 2. 2009	2:18:52,5	45,86	15,47	8	47	0,4	2,4	2,9	IV-V	Podbočje
6. 2. 2009	15:31:18,7	45,85	15,49	7	14	0,4	1,6	1,9		Dol
10. 2. 2009	17:56:28,2	45,67	15,57	12	40	0,5	2,4	2,5		Pribič, Hrvaška
11. 2. 2009	13:23:1,6	45,71	15,58	6	13	0,3	1,6			Gorica Svetojanska, Hrvaška
16. 2. 2009	15:44:21,1	45,70	15,33	10	31	0,5	2,0	2,6	IV	Bojanja vas
16. 2. 2009	21:6:51	45,84	15,43	4	4	0,1	0,7		zvok	Kostanjevica na Krki
25. 2. 2009	9:24:32,3	46,10	14,78	12	27	0,2	1,7	2,3		Kresnice
26. 2. 2009	7:21:25,7	46,11	14,18	15	30	0,4	1,9	2,2		Žabja vas
26. 2. 2009	10:33:2,7	46,11	14,18	15	27	0,4	1,7	1,9		Dobje
26. 2. 2009	10:39:2	46,11	14,17	15	25	0,3	1,8	2,2		Žabja vas
28. 2. 2009	15:51:29,4	46,11	14,18	15	34	0,4	1,7	2,1		Žabja vas
10. 3. 2009	4:2:58,1	45,62	14,26	19	58	0,4	2,4	3,0		Bač
21. 3. 2009	17:22:45	45,70	15,69	8	17	0,3	1,9			Jastrebarsko, Hrvaška
1. 4. 2009	18:4:8,1	46,64	13,80	15	21	0,4	1,9	2,4		Obere Fellach, Avstrija

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M _{LV}	M _D	I _{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
10. 4. 2009	5:33:18,3	45,67	15,60	10	29	0,3	2,0			Volavje, Hrvaška
18. 4. 2009	20:42:29,6	45,55	15,13	1	5	0,2	1,1		III	Dobliče
20. 4. 2009	10:54:28	46,46	13,40	12	24	0,4	1,6	2,4		lof di Montusio, Italija
21. 4. 2009	2:26:6,4	46,46	13,40	12	31	0,4	1,7	2,4		lof di Montusio, Italija
23. 4. 2009	1:17:48,2	46,09	14,92	14	35	0,4	1,9	1,7		Mošenik
23. 4. 2009	23:24:14,7	46,09	14,92	15	36	0,4	1,7	2,0		Mošenik
26. 4. 2009	12:26:38,6	45,88	14,99	7	27	0,4	1,7	1,9		Šahovec
5. 5. 2009	1:57:40,9	46,07	13,95	8	34	0,5	1,7	2,3		Jagršče
8. 5. 2009	19:22:30,3	46,54	16,72	23	4	0,2	1,7			Szentmargitfalva Madžarska
9. 5. 2009	2:25:43,7	46,52	16,69	18	20	0,6	2,2			Szentmargitfalva, Madžarska
17. 5. 2009	14:58:19,3	45,81	15,05	13	34	0,4	1,8	2,2		Brezova Reber pri Dvoru
21. 5. 2009	8:21:44,9	46,47	14,89	10	48	0,6	2,2	2,5	IV	Javorje
22. 5. 2009	4:12:33,4	46,48	14,89	12	24	0,4	1,9	2,2	III-IV	Žerjav
22. 5. 2009	14:14:32,9	45,92	15,07	8	26	0,3	1,6	1,7		Gradišče pri Trebnjem
29. 5. 2009	19:26:14,9	45,83	15,22	2	6	0,3	0,4		zvok	Novo mesto
31. 5. 2009	2:42:5,2	46,31	13,56	6	16	0,5	1,6	1,9		Čezsoča
16. 6. 2009	14:58:21,4	46,30	15,49	9	21	0,3	1,6			Lipoglav
16. 6. 2009	19:56:3,7	46,27	13,30	15	22	0,3	1,6	2,1		Talpana, Italija
18. 6. 2009	8:8:46,4	46,32	13,42	18	16	0,1	1,7	2,0		Skutnik, meja Slovenija - Italija
25. 6. 2009	22:31:53,6	46,46	13,57	14	29	0,5	1,9	2,9		Cave del Predil, Italija
15. 7. 2009	2:3:31,6	45,59	14,25	14	29	0,5	1,5	2,1	F	Ilirska Bistrica
22. 7. 2009	12:37:58	46,06	14,45	11	31	0,3	1,7	2,2		Stranska vas
28. 7. 2009	23:10:10,1	46,08	14,64	12	19	0,4	1,7	1,1		Podgrad
29. 7. 2009	3:6:29	46,40	15,84	12	22	0,3	1,7			Zgornja Hajdina
30. 7. 2009	15:8:42	45,38	14,62	20	33	0,5	1,9	2,4		Kamenjak, Hrvaška
1. 8. 2009	3:4:36,6	46,16	14,53	18	47	0,5	2,5	2,7	IV	Šinkov Turn
1. 8. 2009	21:31:26,7	46,00	14,95	12	37	0,4	1,8	2,0		Gobnik
21. 8. 2009	22:18:52,5	45,51	15,29	8	16	0,3	1,2		III	Bedenj
27. 8. 2009	7:0:58,2	46,01	15,79	10	22	0,4	1,8			Kraljevec, Hrvaška
29. 8. 2009	6:8:13,1	46,17	14,52	17	34	0,4	1,6	1,8		Koseze
30. 8. 2009	19:55:23	46,52	14,29	7	52	0,5	2,4	3,0		Unterloibl, Avstrija
7. 9. 2009	3:14:27,1	45,60	15,27	5	29	0,5	1,8	1,8	IV	Kapljišče
14. 9. 2009	21:23:2,8	46,40	15,21	12	18	0,4	1,6	1,9		Kozjak
1. 10. 2009	3:29:3,2	45,68	14,18	12	21	0,3	1,6	2,3		Kal
2. 10. 2009	11:22:34,5	45,81	15,47	4	10	0,3	1,8			Vrtača
2. 10. 2009	19:39:0,3	46,41	14,31	16	24	0,3	1,8	2,2		Podljubelj
3. 10. 2009	18:28:8,6	46,30	14,43	6	39	0,4	1,6	2,1		Tupaliče
9. 10. 2009	21:36:47,1	46,26	13,76	10	41	0,5	1,6	2,3		Tolminske Ravne

datum	čas (UTC)	z. šir.	z. dolž.	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	potresno območje
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
date	time (UTC)	lat	lon	h	nst	RMS	M_{LV}	M_D	I_{max}	epicentral area
	hh:mm:ss	°N	°E	km		S			EMS 98	
10. 10. 2009	4:12:0,5	46,21	14,49	11	22	0,4	1,5	2,2	F	Vodice
27. 10. 2009	19:24:15	46,51	13,73	14	58	0,4	2,0	2,8	V	Rateče
27. 10. 2009	19:45:3,7	46,51	13,72	13	7	0,2	0,7		III-IV	Rateče
27. 10. 2009	20:27:51,1	46,51	13,72	11	18	0,3	1,2	2,1	III-IV	Rateče
27. 10. 2009	23:55:16,5	46,50	13,72	7	3	0,0	0,1		F	Rateče
28. 10. 2009	4:0:13,2	46,51	13,72	11	30	0,3	1,7	2,4	IV-V	Rateče
29. 10. 2009	17:45:4,8	46,28	13,64	10	24	0,3	1,7	2,3		Drežniške Ravne
2. 11. 2009	17:6:7,7	46,51	13,71	11	10	0,2	0,9	1,7	III	Rateče
14. 11. 2009	20:57:5	46,63	15,11	7	7	0,2	1,6			Kozji Vrh nad Dravogradom
15. 11. 2009	12:46:19,3	46,32	13,43	19	62	0,4	2,2	2,8	IV	Uccea, meja Italija - Slovenija
17. 11. 2009	22:53:41,4	45,90	14,80	8	21	0,3	1,0		F	Ivančna Gorica
29. 11. 2009	9:59:5,4	46,72	15,24	9	8	0,5	1,7			Eibiswald, Avstrija
30. 11. 2009	19:22:0	45,70	15,61	7	27	0,3	2,1			Gorica Svetojanska, Hrvaška
19. 12. 2009	0:6:43,8	46,34	13,67	7	9	0,3	0,7		III	Soča
21. 12. 2009	5:37:35,5	46,13	13,34	18	60	0,4	3,0	3,5	IV-V	Povaletto, Italija
25. 12. 2009	14:20:1,4	46,27	13,71	7	28	0,5	1,6	2,1		V. Bogatin
25. 12. 2009	20:46:24,3	46,30	13,63	6	26	0,5	1,7	2,2		Lepena
26. 12. 2009	4:50:44,7	46,30	13,66	10	22	0,6	1,6	2,0		Lepena
26. 12. 2009	6:43:26	46,33	13,62	10	36	0,5	2,0	2,6	III-IV	Kal-Koritnica
27. 12. 2009	2:51:51,3	45,45	14,34	12	14	0,6	1,7	2,3		Sušak
29. 12. 2009	3:53:25,5	45,40	15,22	5	5	0,2	1,6			Vukovci

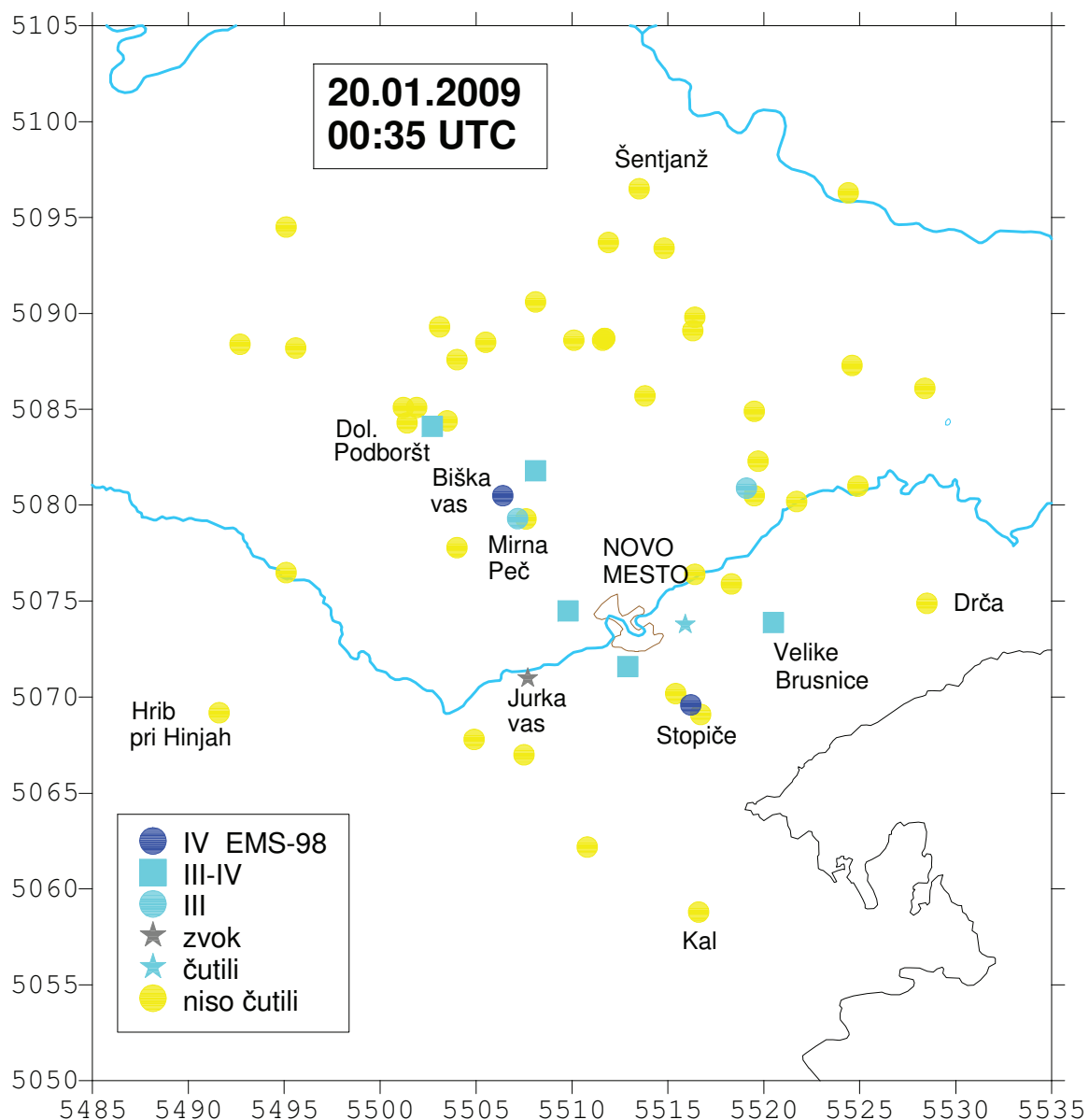
Podatki o nekaterih močnejših potresih, ki so jih prebivalci Slovenije čutili

V tem poglavju in na slikah od 3 do 11 so natančneje opisani in prikazani le nekateri izmed potresov, ki so jih v zadnjem letu čutili prebivalci Slovenije. Zaradi velikega števila dogodkov ni bilo mogoče predstaviti učinkov vseh. Na sliki 12 so prikazane največje intenzitete, ki so jih v letu 2009 v posameznih krajih čutili prebivalci Slovenije.

20. januar 2009 ob 0. uri 35 minut po UTC. Potres z žariščem v okolici Novega mesta je največje učinke (IV EMS-98) dosegel v dveh precej oddaljenih krajih, Biški vasi in Stopičah (slika 3). Center za obveščanje je prejel številne klice iz Novega mesta. Prebivalci so poročali o močnem hrupu, kot bi se veliko snega vsulo s strehe.

Slike 3 – 11. Prikazani so učinki nekaterih potresov, ki so jih v letu 2009 čutili prebivalci Slovenije. Na kartah je uporabljena Gauss-Krügerjeva mreža oz. kilometrsko merilo, ki olajša ocenjevanje medsebojne oddaljenosti prikazanih krajev.

Figures 3 to 11. The effects of some earthquakes felt by inhabitants of Slovenia in 2009 are shown. The Gauss-Krüger coordinate system is used, which facilitates evaluation of the distance between the places shown in the maps. čutili = felt, zvok = sound, niso čutili = not felt.



Slika 3. Intenziteta potresa 20. januarja 2009 ob 0. uri 35 minut po UTC v posameznih naseljih.

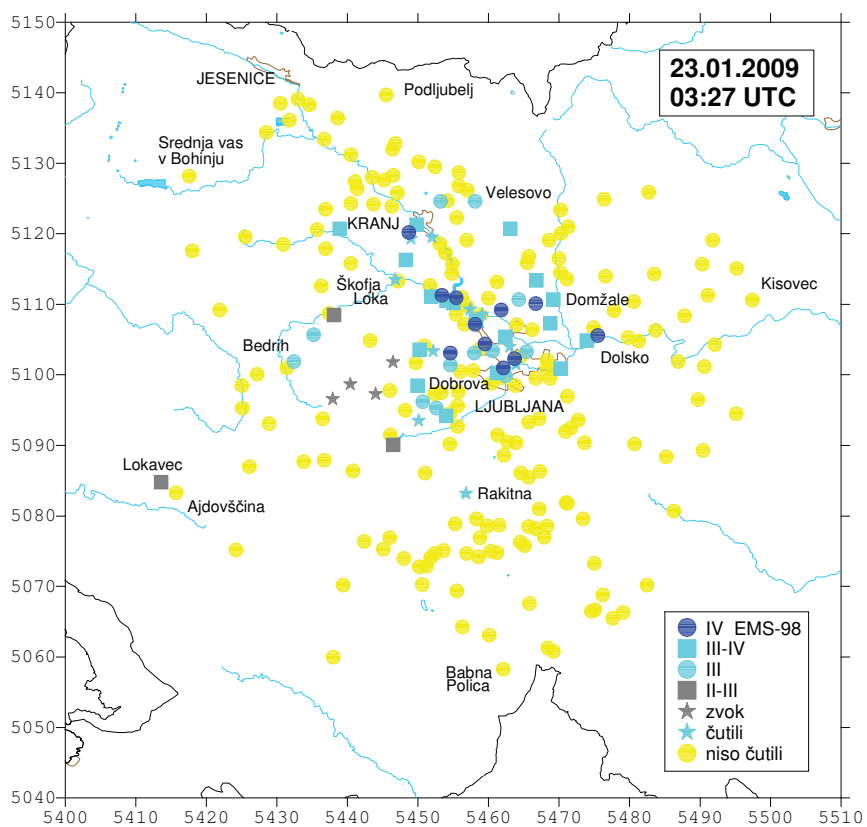
Figure 3. Intensity of earthquake on 20 January 2009 at 00.35 UTC in individual settlements.

23. januar 2009 ob 3. uri 27 minut po UTC. Glede na lokalno magnitudo 2,9 je bil to najmočnejši potres v Sloveniji v letu 2009. Žarišče potresa je bilo zahodno od Ljubljane, v okolici Dobrove. Potres je zbudil in vznemiril številne prebivalce Ljubljane in okoliških krajev, posebej tiste v višjih nadstropjih. Drugih posledic ni bilo (slika 4).

6. februarja 2009 ob 2. uri 18 minut po UTC. Žarišče tega potresa je bilo pri Podbočju v dolini Krke (slika 5). Najbolj so ga čutili na Šutni, z intenziteto IV-V EMS-98. Opazovalec je poročal, da se je pohištvo (postelje) tako močno treslo, da so zbežali na prosto.

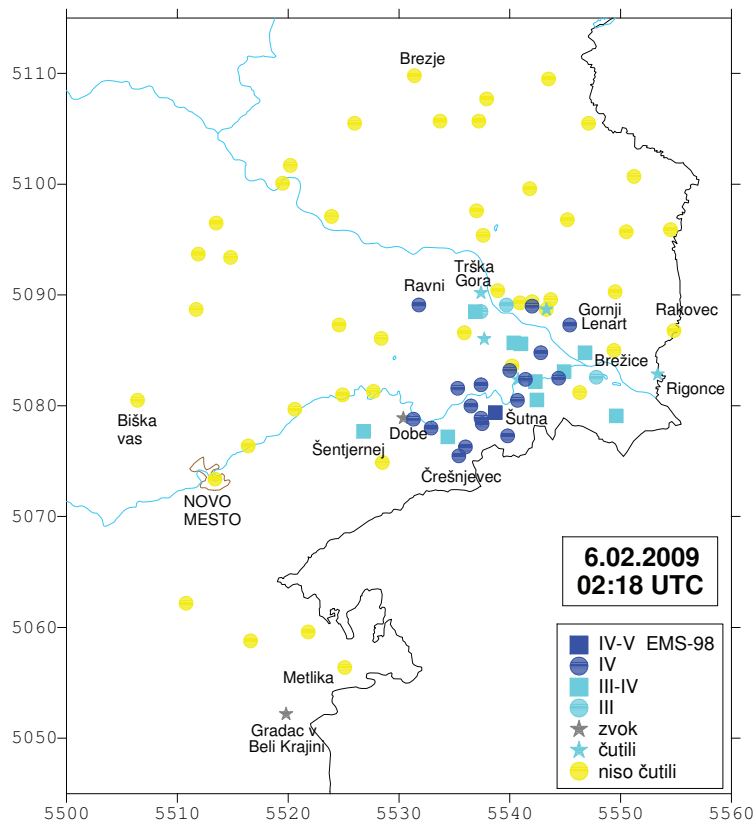
16. februar 2009 ob 15. uri 44 minut po UTC. Potres je imel učinke na majhnem območju, najmočnejše v krajih Bojanja vas, Radovica in Gornji Suhor (slika 6). Največja dosežena intenziteta je bila IV EMS-98, magnituda potresa je bila 2,0.

5. april 2009 ob 20. uri 20 minut po UTC. Potres z žariščem v severni Italiji, blizu kraja Forli, so čutili tudi ponekod pri nas, najmočnejše (IV EMS-98) v Luciji.



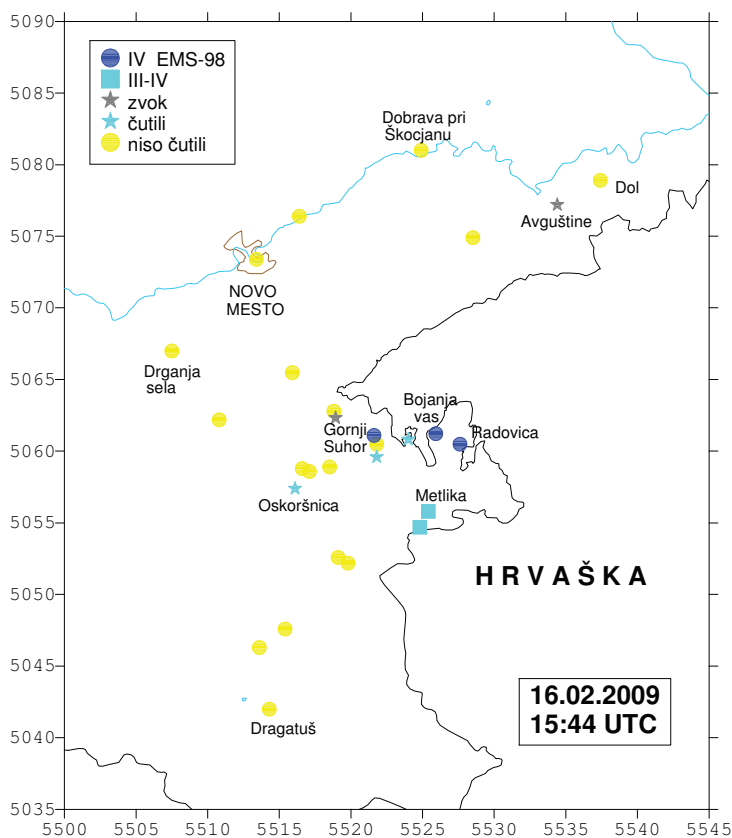
Slika 4. Intenziteta potresa 23. januarja 2009 ob 3. uri 27 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 4. Intensity of earthquake on 23 January 2009 at 03.27 UTC in individual settlements.



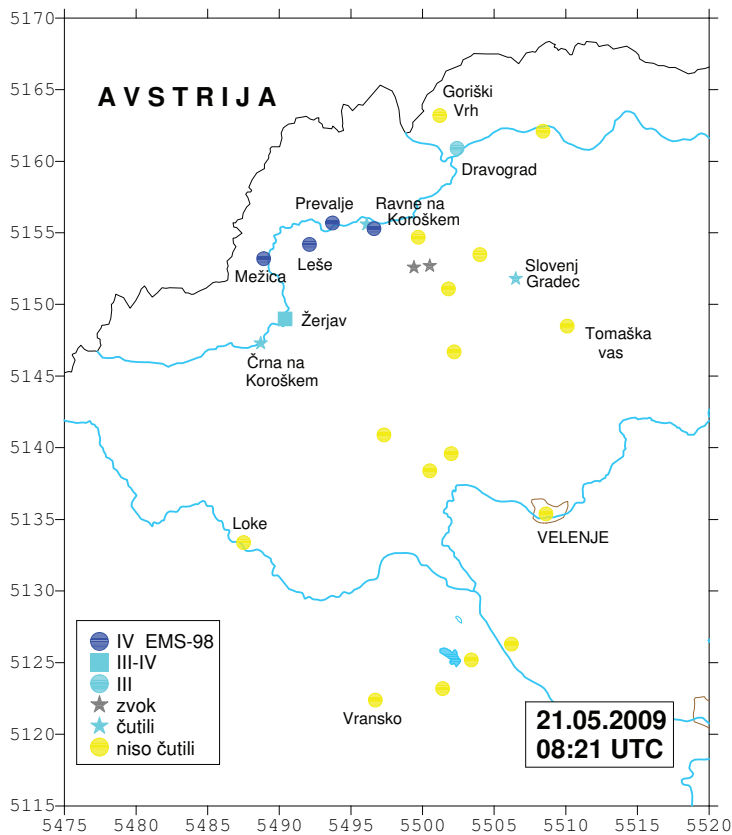
Slika 5. Intenziteta potresa 6. februarja 2009 ob 2. uri 18 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 5. Intensity of earthquake on 6 February 2009 at 02.18 UTC in individual settlements.



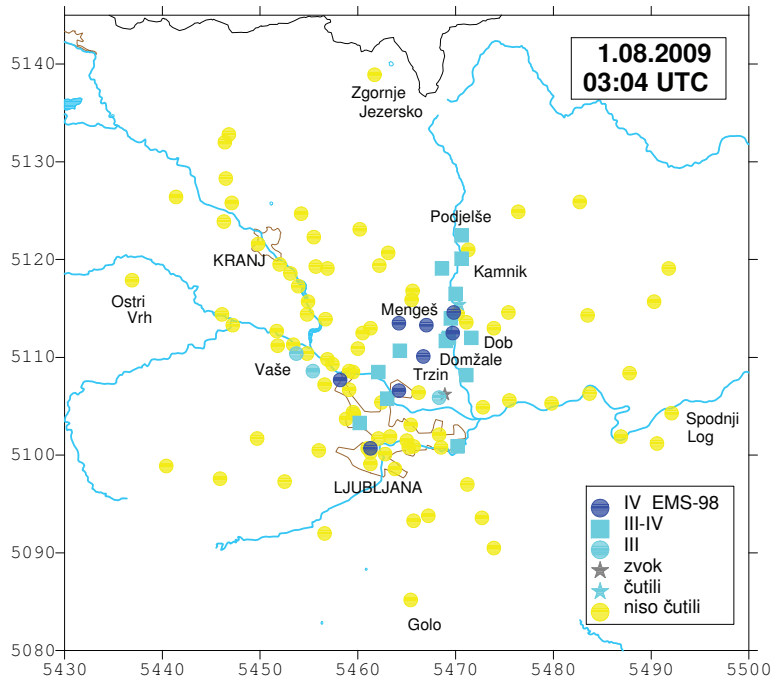
Slika 6. Intenziteta potresa 16. februarja 2009 ob 15. uri 44 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 6. Intensity of earthquake on 16 February 2009 at 15.44 UTC in individual settlements.



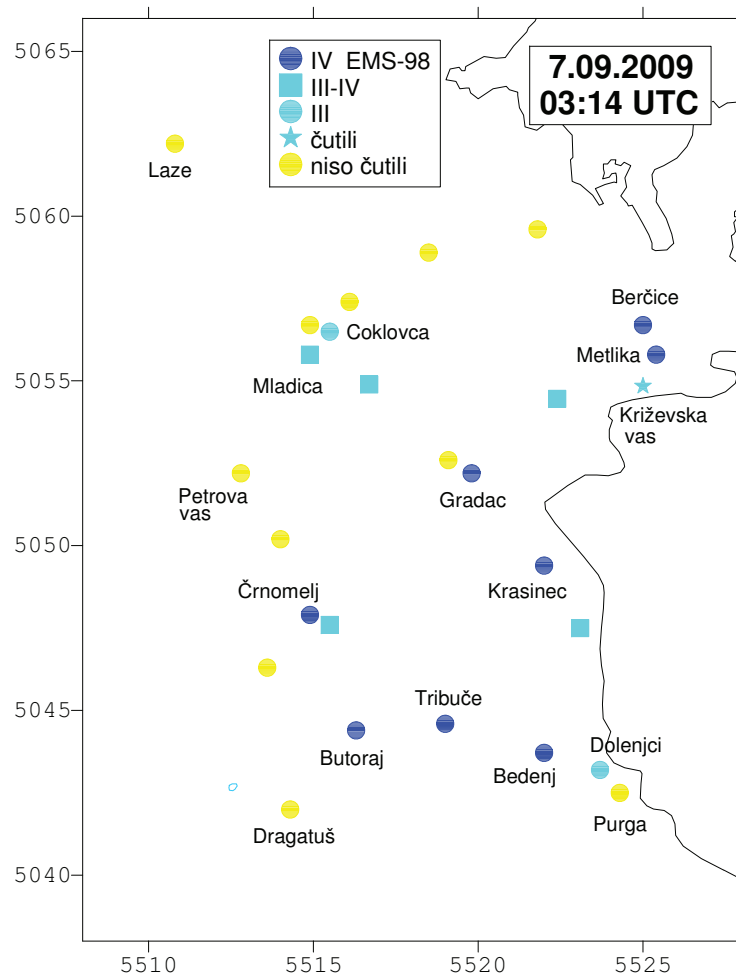
Slika 7. Intenziteta potresa 21. maja 2009 ob 8. uri 21 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 7. Intensity of earthquake on 21 May 2009 at 08.21 UTC in individual settlements.



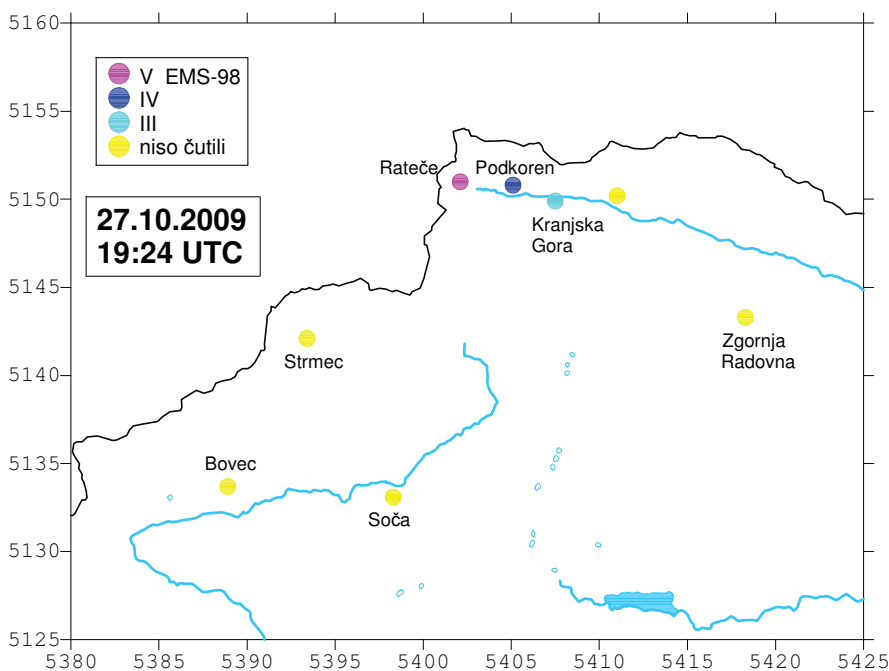
Slika 8. Intenziteta potresa 1. avgusta 2009 ob 3. uri 4 minute po UTC v posameznih naseljih.

Figure 8. Intensity of earthquake on 1 August 2009 at 03.04 UTC in individual settlements.



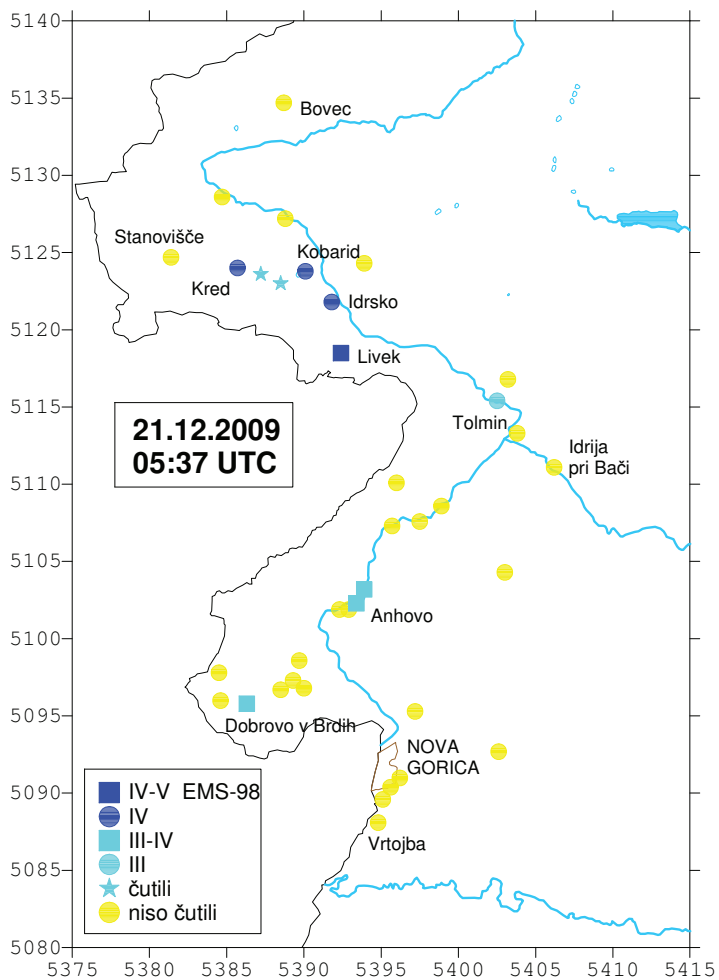
Slika 9. Intenziteta potresa 7. septembra 2009 ob 3. uri 14 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 9. Intensity of earthquake on 7 September 2009 at 03.14 UTC in individual settlements.



Slika 10. Intenziteta potresa 27. oktobra 2009 ob 19. uri 24 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 10. Intensity of earthquake on 27 October 2009 at 19.24 UTC in individual settlements.



Slika 11. Intenziteta potresa 21. decembra 2009 ob 5. uri 37 minut po UTC v posameznih naseljih.

Figure 11. Intensity of earthquake on 21 December 2009 at 05.37 UTC in individual settlements.

6. april 2009 ob 1. uri 32 minut po UTC. Najmočnejši potres v letu 2009, ki so ga čutili prebivalci Slovenije, se je zgodil v srednji Italiji in je razdejal mesto L'Aquila in okoliške kraje. Potres smo podrobneje opisali v posebnem prispevku (Cecić in Godec, 2010). Čutili so po vsej Sloveniji, čeprav so o njem poročali le redki posamezniki. Največjo intenziteto (III-IV EMS-98) je dosegel v Ljubljani (Vič), Preddvoru in na Obrežju.

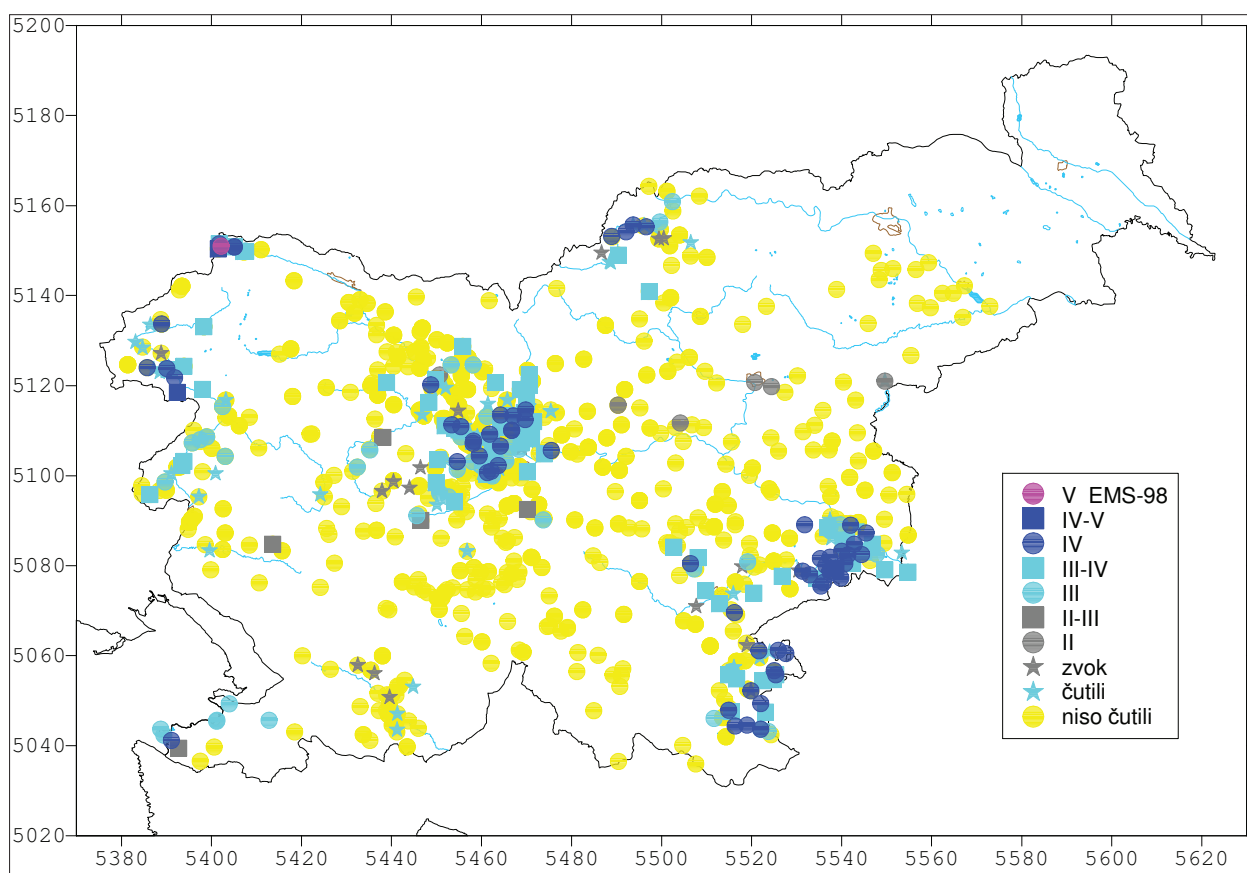
21. maj 2009 ob 8. uri 21 minut po UTC. Ta potres je največjo intenziteto (IV EMS-98) dosegel na Ravnah na Koroškem, Lešah, Prevaljah in v Mežici (slika 7).

22. maj 2009 ob 4. uri 12 minut po UTC. Šibko tresenje tal z intenziteto III-IV EMS-98 je zbudilo posamezne prebivalce Belih Vod. Opazovalka je slišala bučanje, v hiši je rahlo zapokal lesen strop.

1. avgust 2009 ob 3. uri 4 minut po UTC. Tokrat se je zatresla okolica Vodice (slika 8). Magnituda tega dogodka je bila 2,5. V posameznih delih Ljubljane ter krajih Šinkov Turn, Vir, Mengeš, Homec in Trzin je bila intenziteta IV EMS-98. Prebivalci so poročali o zmernem tresenju tal, pohištva in strešnih ogrodiv. Ponekod so se oglasile domače živali (kokoši, fazani, pav itn.).

7. september 2009 ob 3. uri 14 minut po UTC. Potres z magnitudo 1,8 je v krajih Berčice, Metlika, Gradac v Beli Krajini, Krasinec, Butoraj, Črnomelj, Tribuče in Bedenj dosegel intenziteto IV EMS-98 (slika 9). Prebivalce je zbudilo škripanje pohištva in lesenih ostrejših hiš. Ponekod so ob potresu slišali močno bobnenje.

27. oktober 2009 ob 19. uri 24 minut, 19. uri 45 minut in 20. uri 27 minut po UTC. V letu 2009 so prebivalci Slovenije najmočnejše čutili prvi potres od naštetih. Ta je v Ratečah dosegel



Slika 12. Združena karta intenzitet vseh potresov v letu 2009 za posamezen kraj. V primeru, da so v posameznem kraju čutili več potresov, je označena največja intenziteta, ki je bila dosežena kadarkoli v tem letu.

Figure 12. Overall map of the largest intensities of all earthquakes in 2009 felt by the inhabitants of Slovenia in individual places.

intenziteto V EMS-98 (slika 10). Njegova lokalna magnituda ni bila velika, le 2,0, kljub temu so bili potresni učinki, o katerih so ljudje poročali, najmočnejši v letu 2009. Prebivalci so poročali o glasnem zvoku in močnem navpičnem sunku. Marsikdo je pomislil, da je nekomu eksplodirala peč za centralno kurjavo. Posamezniki so v strahu zapustili domove, večina pa je prišla na prosto po potresu. Manjši nestabilni predmeti so se premaknili ali prevrnili, poročali so tudi o finih razpokah v ometu. Razločno so čutili vsaj dva manjša popotresa, ki sta sledila glavnemu dogodku.

28. oktober 2009 ob 4. uri 0 minut po UTC. To je najmočnejši popotres predhodno omenjenega potresa, imel je magnitudo 1,7 (slika 10). Najbolj so ga čutili v Ratečah (IV-V EMS-98). Prebivalci so se zbudili, redki so odšli na prosto. Zadnji potres v tem nizu, ki so ga prebivalci čutili, se je zgodil 2. novembra ob 17. uri 6 minut po UTC.

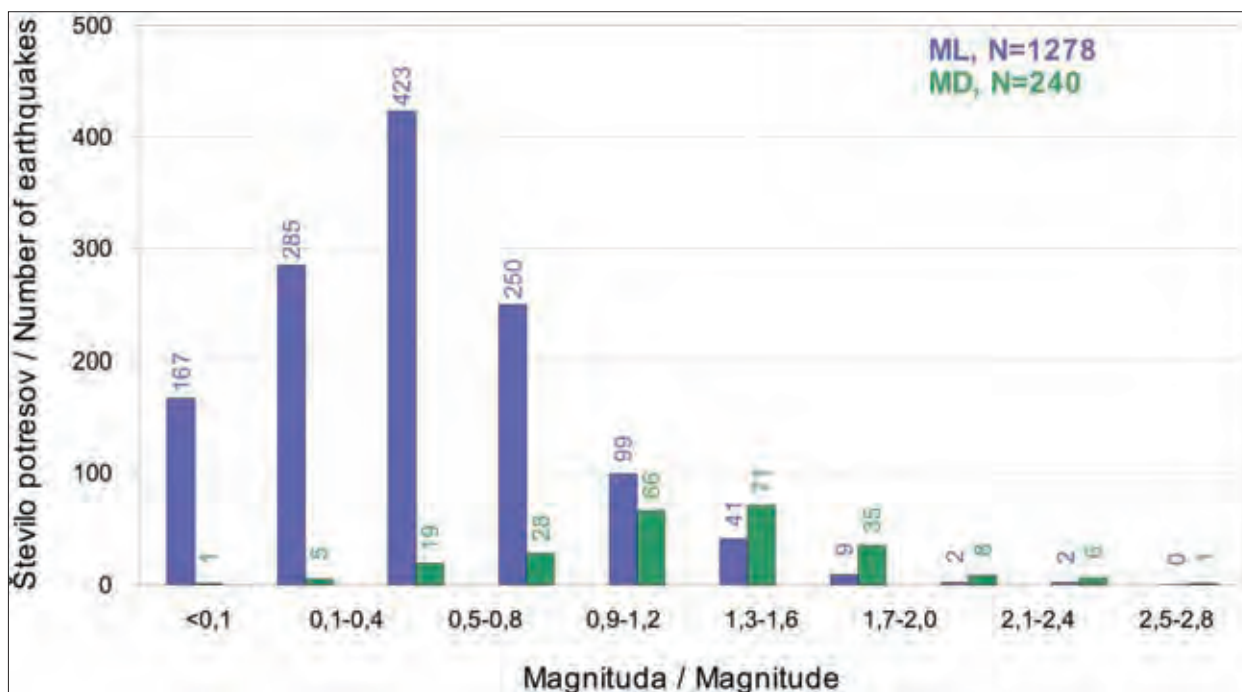
15. november 2009 ob 12. uri 46 minut po UTC. Potres z magnitudo 2,2 je imel žarišče ob meji z Italijo, pri kraju Ucea (Učja). V Sloveniji so ga najbolj čutili v Bovcu, kjer je bila intenziteta IV EMS-98. Kljub temu, da potres ni bil močan, so bili prebivalci Posočja zaskrbljeni, ker še niso pozabili grenke izkušnje iz bližnje preteklosti.

21. december 2009 ob 5. uri 37 minut po UTC. Ta potres so najmočneje (IV-V EMS-98) čutili prebivalci Livka (slika 11). Opazili so močan kratek sunek, ob katerem so zaropotali pohištvo in okna. Posamezniki so med potresom prestrašeni zbežali na prosto.

26. december 2009 ob 6. uri 43 minut po UTC. Redki prebivalci zahodnega dela Slovenije so čutili potres z žariščem v okolici Bovca. Potres je dosegel intenziteto III-IV EMS-98 v krajih Volarje, Drežnica, Kobarid in Soča. Ponekod so prebivalci ob potresu slišali značilno hrumenje.

Sklepne misli

Potresna aktivnost v Sloveniji v letu 2009 je bila zmerna. Histogram na sliki 13 kaže porazdelitev lokalnih magnitud (M_{LV}), ki smo jih opredelili za 1278 potresov. 95 odstotkov teh potresov je imelo lokalno magnitudo manjšo od 1,6.



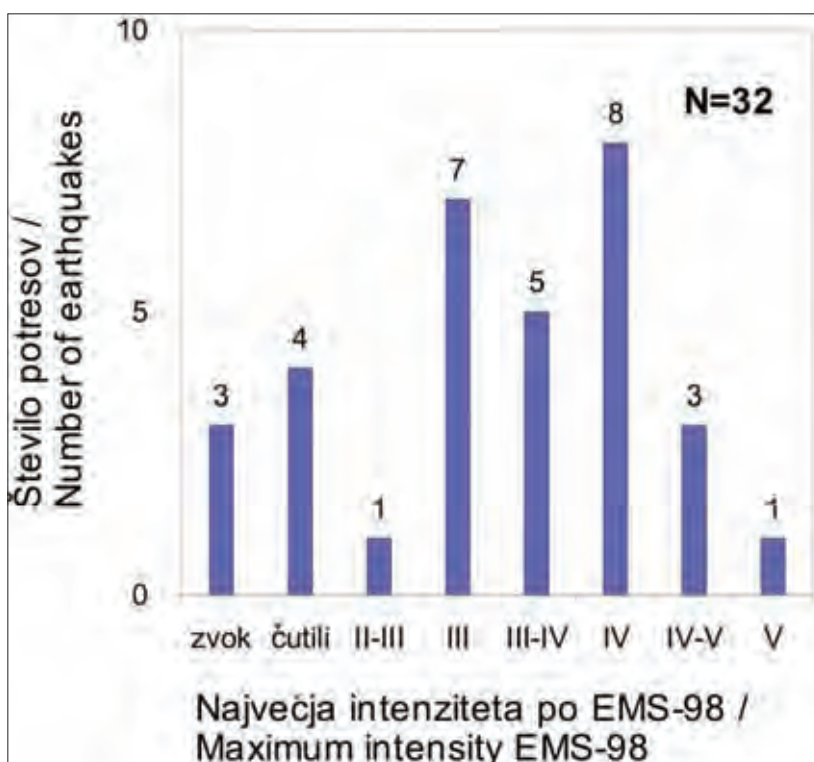
Slika 13. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2009 glede na magnitudi M_{LV} in M_D .

Figure 13. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2009 with respect to magnitudes M_{LV} and M_D .

Preglednica 2. Seznam potresov z žarišči v drugih državah, ki so jih čutili prebivalci Slovenije v letu 2009.

Table 2. List of earthquakes with origins in other countries that were felt by the inhabitants of Slovenia in 2009.

datum	čas (UTC)	Imax	nadžarišče
	hh:mm:ss	EMS – 98	
date	time (UTC)	Imax	epicentre
	hh:mm:ss	EMS – 98	
5. 4. 2009	20:20	IV	Forli, Italija
6. 4. 2009	1:32	III-IV	L'Aquila, Italija
7. 4. 2009	17:47	III	L'Aquila, Italija
9. 4. 2009	0:53	II-III	L'Aquila, Italija



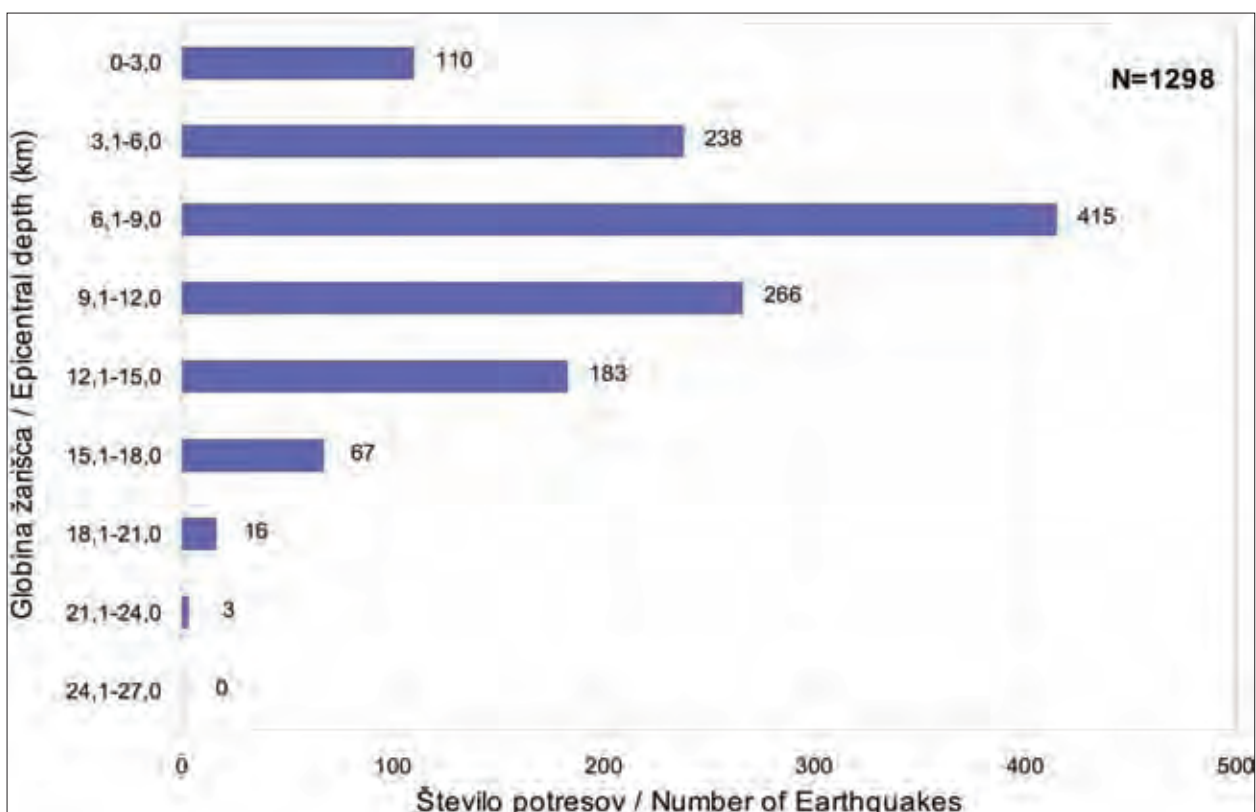
Slika 14. Porazdelitev potresov v Sloveniji v letu 2009 glede na največjo intenziteto EMS-98.

Figure 14. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2009 with respect to maximum intensity EMS-98.

Med potresi, za katere smo prostovoljnimi opazovalcem razposlali makroseizmične vprašalnike ali opravili terenske raziskave, je osem potresov doseglo največjo intenziteto IV EMS-98, trije intenziteto IV-V EMS-98 in en potres intenziteto V EMS-98. Drugi potresi (20) so imeli največjo intenziteto III-IV EMS-98 ali manjšo. Prebivalci so skupno čutili vsaj 32 potresov (sliki 2 in 14).

Porazdelitev potresov glede na globino žarišč (slika 15) kaže, da je imela večina od skupno 1298 potresov na območju Slovenije in bližnje okolice žarišča do globine 24 km. 85 odstotkov potresov se je zgodilo na globini med 3,1 in 15 km, največ med 6,1 in 9 km. Za 19 potresov smo opredelili žariščno globino večjo od 18 km.

Kot doslej bi bili makroseizmični podatki za potrese zelo pomanjkljivi ali celo popolnoma nedostopni, če nam pri tem delu ne bi pomagali številni prostovoljni opazovalci. Leta 2009 je z



Slika 15. Porazdelitev potresov v letu 2009 glede na globino žarišča (v kilometrih).

Figure 15. Distribution of earthquakes in Slovenia in 2009 with respect to focal depth (in kilometres).

ARSO aktivno sodelovalo več kot 5000 ljudi, za kar se jim najlepše zahvaljujemo. V letu 2009 smo poslali 2728 vprašalnikov o potresih.

Tudi v letu 2009 smo pri zbiranju in izmenjavi podatkov uspešno sodelovali s seizmologi iz sosednjih držav. Zahvaljujemo se jim za poslane makroseizmične podatke.

Literatura

- Agencija RS za okolje, 2009-2010. Preliminarni tedenski seizmološki bilteni za 2009. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Cecić, I., Godec, M., 2010. Potres pri L'Aquila (srednja Italija) 6. aprila 2009. V: Potresi v letu 2009. ARSO, Ljubljana.
- Čarman, M., Živčič, M., Ložar Stopar, M., 2010. Potresi v bližini Gorenje vasi januarja in februarja 2009. V: Potresi v letu 2009. ARSO, Ljubljana.
- Grünthal, G. (ur.), 1998a. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Conseil de l'Europe, Cahiers du Centre Européen de Géodynamique et de Séismologie, Volume 15, Luxembourg, 99 p.
- Grünthal, G. (ur.), 1998b. European Macroseismic Scale 1998 (EMS-98). Dostopno na naslovu: http://www.gfz-potsdam.de/pb1/pg2/ems_new/INDEX.HTM.
- GZAM, 2009-2010. Data reports (online). Geofizički Odsjek Prirodoslovno-Matematičnog Fakulteta, Zagreb, Hrvaška. Dostopno na naslovu: <http://www.isc.ac.uk/cgi-bin/collect?Days=&yyyy=Year&mm=Mon&Reporter=ZAG>.
- Jakopin, F., Korošec, T., Logar, T., Rigler, J., Savnik, R., Suhadolnik, S., 1985. Slovenska krajevna imena. Leksikoni Cankarjeve založbe, Cankarjeva založba, Ljubljana, 358 p.
- Lienert, B.R., Berg, E. in Frazer, L.N., 1988. HYPOCENTER: An earthquake location method using centered, scaled, and adaptively least squares. Bull. Seism. Soc. Am., 76, 771-783.
- Lienert, B.R., 1994. HYPOCENTER 3.2 - A Computer Program for Locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of Geophysics & Planetology, Honolulu, 70 p.

- Michelini, A., Živčić, M. in Suhadolc, P. (1998). Simultaneous inversion for velocity structure and hypocenters in Slovenia. *Journal of Seismology*, 2(3), 257-265.
- Rebez, A. in Renner, G., 1991. Duration magnitude for the northeastern Italy seismometric network. *Boll. Geof. Teor. Appl.*, Vol. XXXIII, N. 130-131, 177-186.
- OGS (Osservatorio Geofisico Sperimentale), 2009. Bolletino della Rete Sismometrica del Friuli Venezia Giulia, OGS, Centro ricerche sismologiche, Udine, computer file.
- RGU (Republiška geodetska uprava), 1995. Centroidi naselij (geografske koordinate), računalniški seznam.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. *Eos, Trans. Amer. Un.*, Vol. 72 (441), pp. 445-446.
- Wessel, P. in Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS Trans. AGU*, Vol. 79, p. 579.
- ZAMG, 2009-2010. Preliminary bulletin of regional and teleseismic events recorded with ZAMG-stations in Austria. Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien.
- Živčić, M., Bondár, I. and Panza, G.F., 2000. Upper Crustal Velocity Structure in Slovenia from Rayleigh Wave Dispersion. *Pure Appl. Geophys.*, Vol. 157, 131-146.

POTRESI V BLIŽINI GORENJE VASI JANUARJA IN FEBRUARJA 2009 EARTHQUAKES IN THE GORENJA VAS REGION IN JANUARY AND FEBRUARY 2009

Martina Čarman, Mladen Živčić, Milka Ložar Stopar

Povzetek

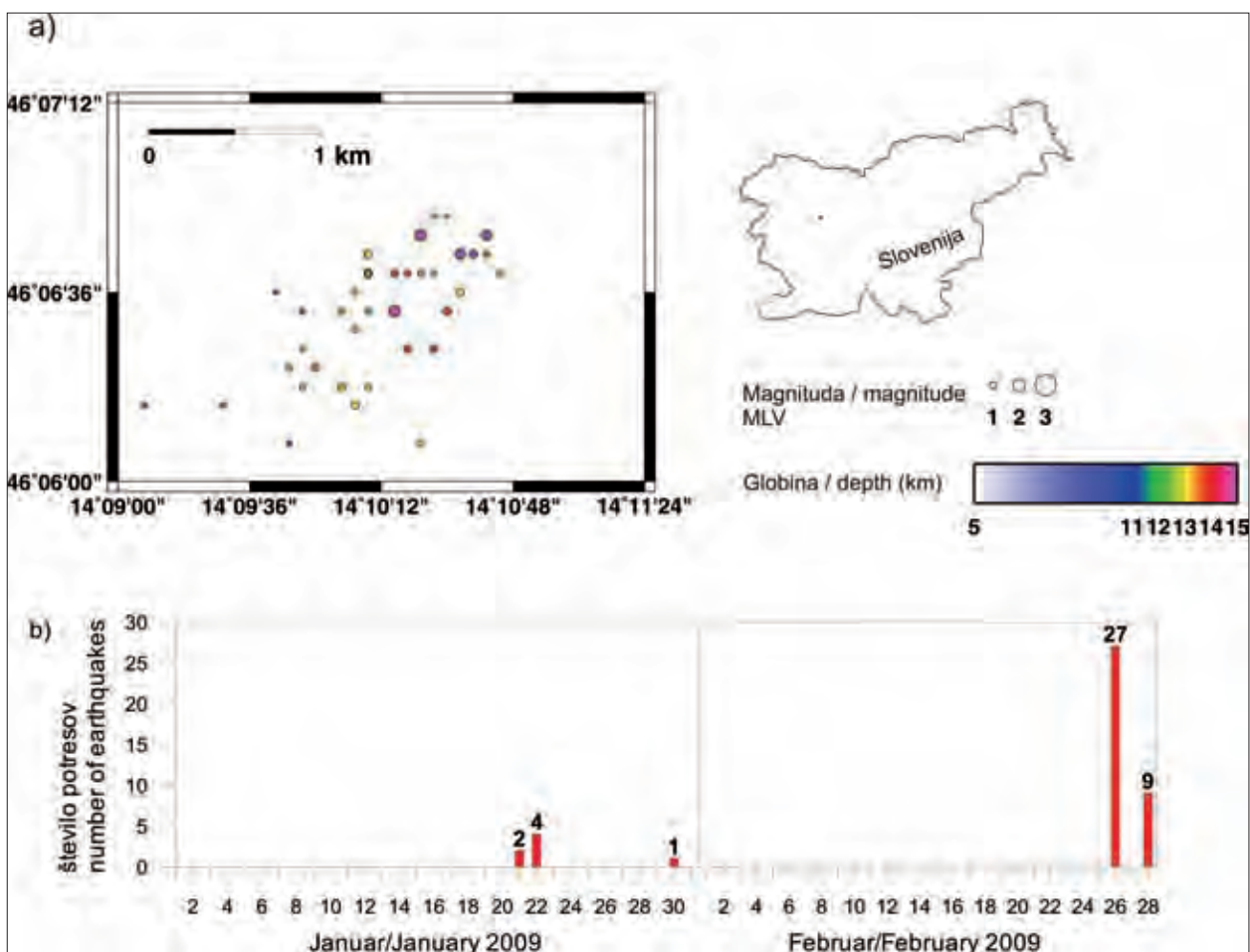
Januarja in februarja 2009 smo na Uradu za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje zabeležili številne šibke potrese v bližini Gorenje vasi. Najmočnejši potres z lokalno magnitudo $M_{LV}=1,9$ se je zgodil 26. februarja 2009 ob 8. uri in 21 minut po srednjeevropskem času. Po obdelavi podatkov s postopki, ki jih seizmologi uporabljamo vsakodnevno, so nadžarišča potresov ostala raztresena na širokem področju. Z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Waldhauser in Ellsworth, 2000; Waldhauser, 2001) smo sočasno locirali vse potrese in tako izboljšali medsebojni položaj potresnih žarišč. Prej razpršene lokacije so se strnile v ozko gručo in razkrile področje preloma, kjer so se pritiski sprostili. Izračun žariščnega mehanizma smo lahko izvedli le za najmočnejši potres in ta podaja narivni značaj potresa s prelomno ploskvijo v smeri približno vzhod – zahod. S primerjavo zapisov potresnega valovanja najmočnejšega potresa z nekoliko šibkejšimi potresi smo ugotovili izjemno podobnost, tako v sami obliki zapisov na posamezni opazovalnici kot v smeri vstopa potresnega valovanja na opazovalnico. Sklepamo lahko, da gre pri vseh potresih za približno enak mehanizem. Smeri narivanja, bodisi proti jugu bodisi proti severu, pa ni mogoče določiti na podlagi razpoložljivih podatkov.

Abstract

In January and February 2009 the Seismic Network of the Republic of Slovenia has recorded 43 events from the epicentral area near Gorenja vas (Slovenia). The strongest event with $M_{LV}=1,9$ occurred on 26 February 2009, 07.21 UTC. Earthquake hypocentres were relocated using HypoDD (Waldhauser and Ellsworth; Waldhauser, 2001) algorithm. Significant improvement in relative hypocentral locations was obtained for 31 earthquakes. The depths are found between 10.7 and 13 km. The mechanism of the strongest event is of the thrust type with the fault plane striking approximately East – West. The analysis has shown that waveform shapes and P-wave first motion polarities of some other stronger events for particular station and component are similar to that of the strongest earthquake, thus we can infer that all discussed earthquakes have approximately the same fault plane solutions. However, from the available data it was not possible to determine the direction of thrusting, which can be either towards South or towards North.

Uvod

Januarja in februarja 2009 so potresne opazovalnice v Sloveniji zabeležile v bližini Gorenje vasi večje število potresov. 43-im potresom smo določili koordinate nadžarišča in magnitudo (slika 1). Zabeleženih dogodkov je bilo precej več, vendar so bili ti prešibki in podatki nezadostni za opredelitev osnovnih parametrov. Najštevilčnejši niz potresov se je zgodil v četrtek, 26. februarja 2009. Med peto uro zjutraj in eno popoldne smo zabeležili 22 dogodkov, katerim smo lahko določili koordinate nadžarišča in magnitudo. Najmočnejši potres z lokalno magnitudo 1,9 se je zgodil ob 7. uri 21 minut po UTC (oz. ob 8. uri in 21 minut po srednjeevropskem času). Najbližja opazovalnica državne mreže CRNS na Črnem Vrhu je bila od nadžarišč oddaljena približno 7 kilometrov. Ker je za zanesljivo določanje žariščne globine izredno pomembno imeti zapise opazovalnice čim bližje nadžarišču in ker smo iz predhodnih rezultatov pričakovali, da so žarišča nekoliko globlja, smo še isti dan v kleti osnovne šole Ivana Tavčarja v Gorenji vasi postavili prenosno potresno opazovalnico (Sinčič in sod., 2010). Ta je začela delovati okoli 13. ure. Potresna aktivnost se je popoldne nekoliko umirila in, ko smo že mislili, da s prenosno opazovalnico ne bomo uspeli zabeležiti nobenega potresa, se je v večernih urah zgodilo še pet potresov. Tla so se večkrat zatresla še 28. februarja. Tega dne smo zabeležili tudi najuporabnejši zapis na prenosni potresni opazovalnici, in sicer zapis potresa ob 15. uri in 51 minut po UTC.



Slika 1. (a) Karta rutinsko določenih nadžarišč potresov v bližini Gorenje vasi v januarju in februarju 2009. (b) Časovna porazdelitev lociranih potresov.

Figure 1. (a) Earthquake epicenters recorded in September and October 2009 in Gorenja vas region. (b) Time distribution of located earthquakes.

Lociranje potresov

Za sprotno določanje osnovnih parametrov potresov na ozemlju Slovenije seizmologi na Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo program Hypocenter 3.2 (Lienert, 1994). Ta program na podlagi odčitanih časov vstopa vzdolžnih oz. longitudinalnih, P, in prečnih oz. transverzalnih, S, potresnih valov, podatkov o hitrostih valovanja na različnih globinah (enodimenzionalni hitrostni model) in podatkov o lokacijah opazovalnic numerično reši kinematične enačbe in tako določi čas in kraj nastanka posameznega potresa ter njegovo jakost (magnitudo). Točnost, ki jo praviloma dosežemo, je nekaj kilometrov za lego žarišča, nekaj desetink sekunde za čas nastanka potresa in nekaj desetink za magnitudo. Dosežena točnost osnovnih potresnih parametrov in čas, ki ga potrebujemo za njihov izračun, zadostujeta za potrebe obveščanja in ukrepanja po potresu in za statistično obdelavo potresne dejavnosti. Vendar pa postopek ne zadošča pri prepoznavanju aktivnih prelomnih con, saj z uporabo poenostavljenega hitrostnega modela Zemljine skorje, nezanesljivosti pri odčitavanju vstopnih časov P in S valov (predvsem iz analognih zapisov) ter majhnega števila potresnih opazovalnic v preteklosti dobimo razpršeno sliko potresne dejavnosti.

Za gručo potresov na prostorsko omejenem območju, ki je majhno v primerjavi z oddaljenostjo opazovalnic od potresov in majhno v primerjavi s hitrostnimi spremembami na poti potresnih valov, lahko lokacije, izračunane z rutinskim postopkom, izboljšamo z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination = HypoDD, Waldhauser and Ellsworth, 2000). Ključna ideja te metode je, da potresni

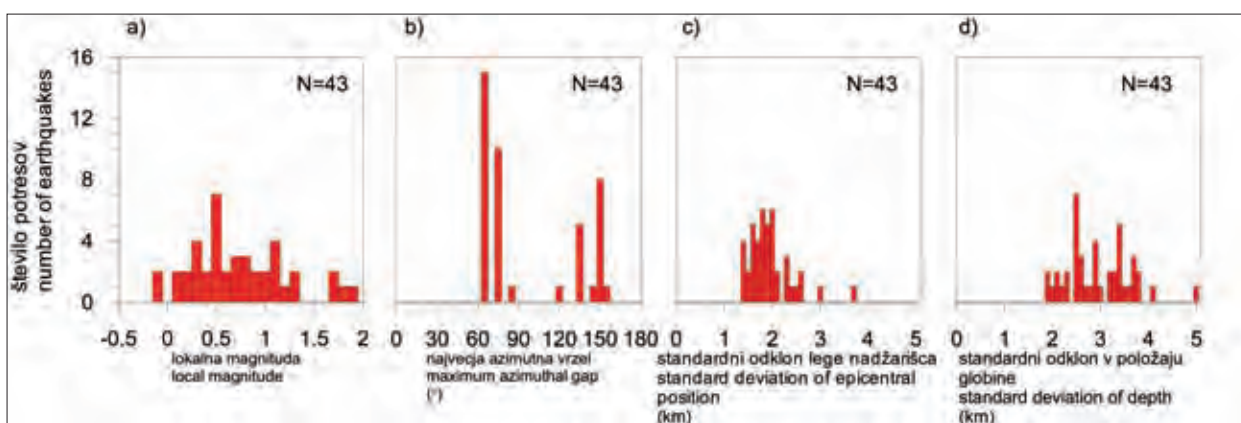
valovi potresov, ki so nastali na relativno majhnem območju, potujejo do izbrane oddaljene opazovalnice po poteh zelo blizu skupaj, razen v neposredni bližini žarišč, in tako prepotujejo iste lokalne geološke strukture. Tako na večjem delu poti, razen v neposredni bližini žarišč, rutinski izračun z uporabo poenostavljenega modela Zemljine notranjosti k času potovanja potresnih valov prinese isto absolutno napako. Časovni razliki (prehitek ali zaostanek) vstopa potresnih valov dveh bližnjih potresov na izbrano opazovalnico pa z veliko gotovostjo pripišemo krajevni razmiku žarišč. Z iterativnim spreminjanjem lege žarišč minimiziramo vse prehitke oz. zaostanke med pari bližnjih potresov na vsaki opazovalnici posebej. S takšnim sočasnim relociranjem gruč potresov posredno upoštevamo hitrostne razlike v Zemljini notranjosti in posledično točneje določimo krajevne koordinate.

Avtorja, F. Waldhauser in W. L. Ellsworth, sta metodi dala ime Double-Difference Hypocenter determination. Izraz »double-difference« dobesedno lahko zamenjamo z izrazom »dvojna razlika«, vendar smo ga mi raje nadomestili s »časovni prehitek oz. zaostanek«. Časovni prehitek oz. zaostanek med dvema potresoma na izbrano opazovalnico je časovna razlika v potovanju potresnih valov od posameznega žarišča do opazovalnice. Ta čas potovanja je prav tako izračunan iz časovne razlike, in sicer razlike med izmerjenim časom prihoda P oz. S potresnih valov na izbrano opazovalnico in žariščnim časom, izračunanem po rutinskem postopku. Ta »razlika časovnih razlik oz. dvojnih razlik« je dala metodi angleško ime.

Rezultati

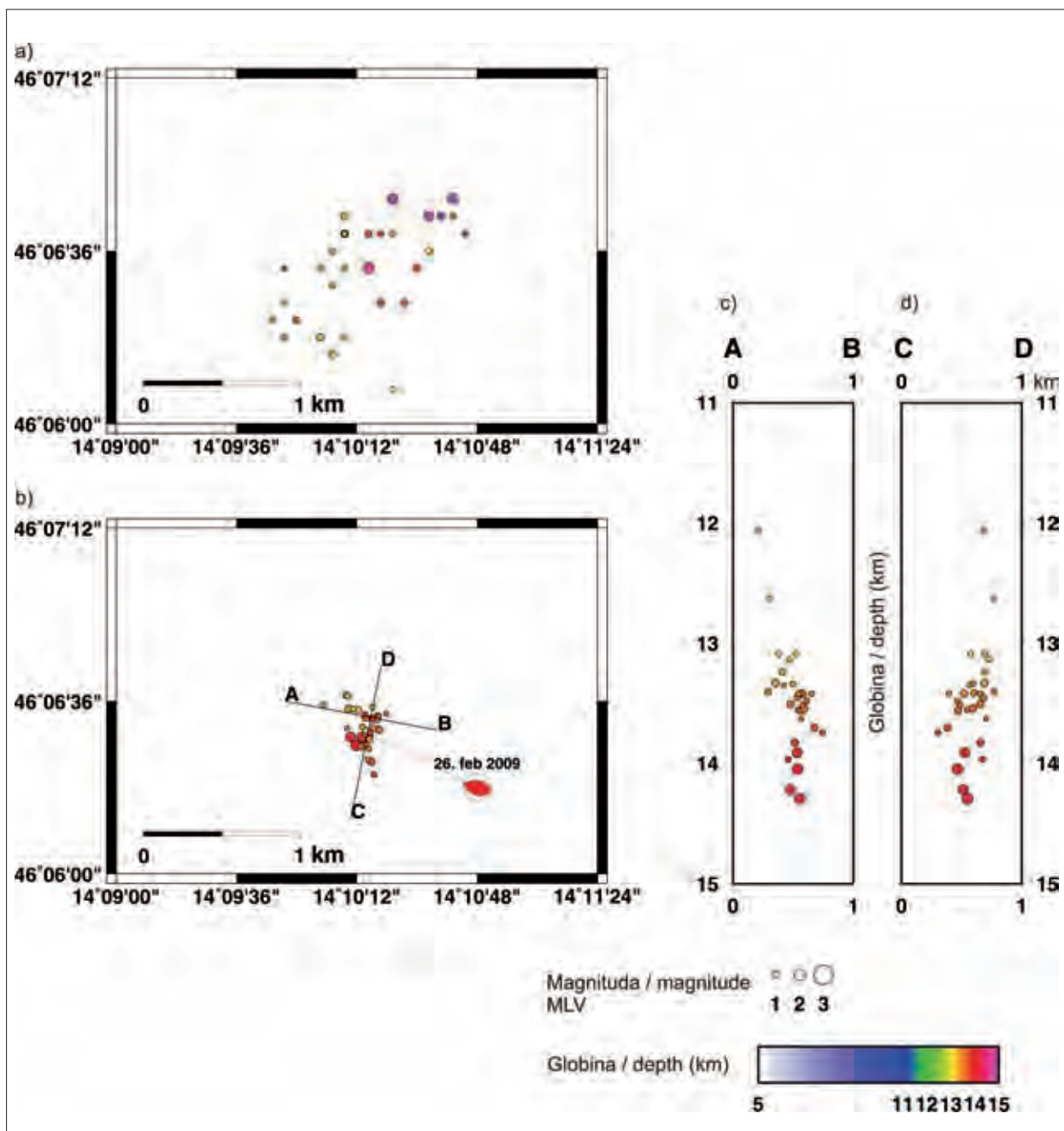
Relokacija potresov

Po rutinski obdelavi seizmoloških podatkov smo na območju $46,10^{\circ}$ - $46,12^{\circ}$ SZŠ in $14,15^{\circ}$ - $14,19^{\circ}$ VZD uspeli locirati 43 potresov (ARSO, 2009) z lokalnimi magnitudami od 0,1 do 1,9 (slika 1). Največja azimutna vrzel med lokacijo posameznega potresa in opazovalnicami, ki so prispevale podatke o potresu, je 161° . Natančnost rutinskega izračuna lege žarišča opredelimo s standardnim odklonom, in ne presega $\pm 3,6$ km za položaj nadžarišča ter ± 5 km za položaj globine žarišča. Porazdelitve omenjenih parametrov so prikazane na slikah 2a, 2b, 2c in 2d. Nadžarišča potresov so raztresena znotraj približno 1,5 km dolgega in 1 km širokega območja (slika 1a). Potresi se nahajajo na globinah od 9 do 16 km.



Slika 2. (a) Porazdelitev potresov v bližini Gorenje vasi januarja in februarja 2009 glede na lokalno magnitudo. (b) Porazdelitev potresov glede na največjo azimutno vrzel med lego nadžarišča in potresnimi opazovalnicami, ki so pri lociranju prispevale vstopne čase potresnih valov. (c) Porazdelitev potresov glede na standardni odklon v legi nadžarišča. (d) Porazdelitev potresov glede na standardni odklon v položaju globine.

Figure 2. (a) Distribution of local magnitude for earthquakes in the vicinity of Gorenja vas in January and February 2009. (b) Distribution of maximum azimuthal gap (in 5° bins) between the earthquake location and stations which contribute phases to event location. (c) Distribution of earthquakes with respect of standard deviation of epicenter location. (d) Distribution of earthquakes with respect of standard deviation of earthquake depth.



Slika 3. 31 potresov (a) po lociranju vsakega posameznega dogodka s programom Hypocenter computer code (Lienert, 1994), in (b) po sočasnem relociranju dogodkov z uporabo relativne metode časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč (Double-Difference Hypocenter determination = DDHypo, Waldhauser and Ellsworth, 2000) za niz potresov blizu Gorenje vasi, ki so se zgodili januarja in februarja 2009. Na sliki je prikazan žariščni mehanizem najmočnejšega potresa. Slika (c) prikazuje relocirane dogodke v navpičnem prerezu vzdolž daljice AB ter (d) vzdolž daljice CD. Barva simbola za nadžarišče ponazarja žariščno globino, njegova velikost pa vrednost lokalne magnitude MLV. Sliki sta bili narejeni s programom GMT (Wessel and Smith, 1991; 1998). Na teh slikah globine niso popravljen/zmanjšane za 1,3 km.

Figure 3. Distribution of 31 (a) routinely located earthquakes (circles) using Hypocenter computer code (Lienert, 1994), and (b) relocated earthquakes using Double-Difference Hypocenter determination algorithm (Waldhauser and Ellsworth, 2000) for earthquakes in the vicinity of Gorenja vas, January - February 2009. Panel (b) shows focal mechanism of the strongest earthquake; vertical cross section (c) along line AB and (d) along line CD. Coloured symbols of varying sizes give information on focal depth and local magnitude MLV. Figure was created using GMT software (Wessel and Smith, 1991, 1998). Depth correction for 1.3 km was not performed.

Z relativno metodo časovnih prehitkov oz. zaostankov pri določanju žarišč smo poskusili njihove lokacije izboljšati. Parom bližnjih potresov smo poiskali časovne prehitke oz. zaostanke ustreznih vstopnih časov do opazovalnic, oddaljenih od središča gruče potresov največ 120 km. Enajstim potresom nismo uspeli najti zadostno število prehitkov oz. zaostankov (v našem primeru 12), zato smo jih izključili iz nadaljnje obravnave. Prehitke oz. zaostanke preostalih potresov smo s programom HypoDD minimizirali. Med postopkom je bil en dogodek izključen iz obravnave, ker po iteracijah ni več ustrezal vsem pogojem za nadaljnjo obravnavo (npr., oddaljenost od skupine potresov prevelika, globina žarišča negativna...). Ob zaključku smo dobili izboljšane medsebojne lege enaintridesetih žarišč (slika 3).

Potresi so se po relokaciji prostorsko strnili. Globinske prereze smo na podlagi žariščnega mehanizma izrisali vzdolžno (slika 3c) in prečno na smer preloma (slika 3d). Iz lege potresnih žarišč na teh prerezih lahko ocenimo, da so se ti zgodili na območju širokem 500m (prerez AB), dolgem 500m (prerez CD) ter globokem 2,5 km. Opazimo tudi, da se močnejši potresi večinoma zgodijo globlje, šibkejši pa bližje površju.

Popravek žariščne globine

Metoda HypoDD je relativna metoda, kar pomeni, da lahko z njo določimo točnejšo lego med žarišči potresov znotraj obravnavane gruče, ne pa točne umeščenosti gruče v prostor. Žarišča, katerih globine so po rutinski obdelavi potresov nihale med 9 in 16 km, se po hkratnem relociranju nahajajo na globinah med 12,0 in 14,3 km (slika 3c, 3d). Iz zapisov prenosne potresne opazovalnice v Gorenji vasi, ki je bila nameščena skoraj v nadžarišču, smo lahko točneje določili žariščno globino trem potresom. Pri tem smo upoštevali hitrosti vzdolžnega in prečnega potresnega valovanja, ki ju uporabljamo za določanje osnovnih parametrov potresov v Sloveniji, in iz razlike vstopnih časov prvih prihodov prečnih in vzdolžnih valov določili žariščno globino. Razlika med tako določeno globino in rezultati relokacij je v poprečju 1,3 kilometre, zato je potrebno vse z relokacijskim postopkom izračunane globine zmanjšati za to vrednost.

Žariščni mehanizem

V obravnavanem obdobju je najmočnejši potres v bližini Gorenje vasi imel lokalno magnitudo $M_{LV}=1,9$. Ker pa je lega žarišča glede na razporeditev opazovalnic, ki so zabeležile ta potres, zelo ugodna, smo tudi tako šibkemu potresu lahko določili žariščni mehanizem. Iz odčitanih smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega valovanja na potresno opazovalnico smo z programom Focmec (Snoke in sod., 1984) določili lego dveh možnih prelomnih ploskev. Na voljo smo imeli odčitke trinajstih opazovalnic, na ostalih pa so bili vstopi šibkejši in niso omogočili nedvo-

Preglednica 1. Potres 26. 2. 2009 ob 07.21 UTC in parametri žariščnega mehanizma. Smer je merjena od severa proti vzhodu, tako da je prelomna ploskev nagnjena v desno, naklon je merjen od vodoravne ravnine, premik je merjen v prelomni ploskvi od smeri preloma (Aki in Richards, 2002). P je os največje in T os najmanjše napetosti. N je število uporabljenih podatkov o smeri prvih premikov.

Table 1. Focal mechanism for 26 February 2009, 07.21 UTC earthquake. Strike is the azimuth of the horizontal direction taken so that the plane dips to the right, measured from the North through East (Aki's convention), dip of the fault is measured from the horizontal and rake is the angle of slip, measured in the plane of the fault from the strike direction to the slip vector. P is maximum and T minimum pressure axis. N is number of P-wave first motion polarities used.

datum	čas (UTC)	šir.	dolž.	glob.	M_{LV}	ravnina 1			ravnina 2			P		T		N
						smer	nakl.	prem.	smer	nakl.	prem.	smer	nakl.	smer	nakl.	
date	time (UTC)	lat.	lon.	depth	M_{LV}	nodal plane 1			nodal plane 2			P		T		N
dd.mm.yyyy	hh:mm	°N	°E	km		strike	dip	rake	strike	dip	rake	strike	dip	strike	dip	
26.02.2009	07:21	46,11	14,17	14	1,9	281	50	83	112	41	98	16	5	147	83	13

mne opredelitve smeri prvega vstopa. Parametri žariščnega mehanizma za potres 26. februarja 2009 ob 7. uri in 21 minut po UTC so v preglednici 1.

Žariščni mehanizem najmočnejšega potresa je prikazan na sliki 3b in kaže na narivni prelom vzdolž smeri vzhod – zahod. Iz prostorske razporeditve žarišč (prereza na sliki 3) ni možno sklepati na smer nariva, lahko je proti severu ali proti jugu.

Le nekoliko šibkejša sta bila potresa 26. februarja ob 10. uri 33 minut po UTC in 10. uri 39 minut po UTC ter potres 28. februarja ob 15. uri 51 minut po UTC. Vsem potresom smo odčitali smeri prvih premikov in jih podajamo v preglednici 2.

Preglednica 2. Smeri prvih premikov ob vstopu vzdolžnega valovanja na posamezno potresno opazovalnico za štiri najmočnejše potrese, ki so se februarja 2009 zgodili v bližini Gorenje vasi. C označuje kompresijo, D pa dilatacijo.

Table 2. P-wave first motion polarities used for four stronger earthquakes in the vicinity of Gorenja vas. C denotes compression, and D is dilatation.

potres / earthquake	potresna opazovalnica / seismic station												
	CRNS	VOJS	JAVS	GORS	GBAS	LJU	MOZS	VNDS	CEY	SABO	OBKA	VISS	PDKS
26. 2. 2009 07:21 UTC $M_{LV}=1,9$	C	D	D	D	D	C	D	C	D	D	D	D	D
26. 2. 2009 10:33 UTC $M_{LV}=1,7$	C	D	D	D	D		D	C	D			D	
26. 2. 2009 10:39 UTC $M_{LV}=1,8$	C	D	D	D	D		D	C	D		D	D	
28. 2. 2009 15:51 UTC $M_{LV}=1,7$	C	D	D	D	D		D	C	D		D	D	D

Na posameznih opazovalnicah so za vse štiri močnejše potrese smeri prvih premikov, če jih je le bilo mogoče odčitati, enake. Poleg tega je tudi oblika zapisov potresov na posameznih opazovalnicah in komponentah zelo podobna. Zato lahko sklepamo, da so tudi žariščni mehanizmi vseh potresov približno enaki.

Zaključek

Z natančno določitvijo lege žarišč v prostoru se nam razkrijejo aktivni segmenti prelomov v obravnavanem časovnem obdobju, njihova velikost in usmerjenost. Poznavanje žariščnih mehanizmov pa prispeva informacijo o smeri deformacij v žariščnem območju.

Prostorska umestitev enaintridesetih potresov, ki so se zgodili januarja in februarja 2009 v bližini Gorenje vasi, zariše aktiven segment preloma na globini od 10,7 do 13,0 kilometrov. Žariščni mehanizem najmočnejšega potresa te gruče potresov kaže na reverzni prelom vzdolž smeri vzhod-zahod, medtem ko o smeri narivanja, bodisi na jug bodisi na sever, na podlagi razpoložljivih podatkov ne moremo sklepati.

Literatura

- Aki, K., Richards, P. G., 2002. Quantitative Seismology, University Sausalito Books, Sausalito CA, 700 pp.
- Agencija Republike Slovenije za Okolje, 1977-2010. Baza podatkov za potrese na ozemlju Slovenije od leta 1977 do 2010. Arhiv ARSO, Ljubljana.
- Lienert, B. R., 1994. HYPOCENTER 3.2 – A Computer program for locating Earthquakes Locally, Regionally and Globally. Hawaii Institute of the Geophysics and Planetology, Honolulu, 70 pp.
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2010. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2009. v A. Gosar, ur.: Potresi v letu 2009. Agencija Republike Slovenije za okolje, Ljubljana.

- Snoke, J.A., Munsey, J.W., Teague, A.G., Bollinger, G. A., 1984. A Program for Focal Mechanism Determination by the Combined Use of Polarity and SV-P Amplitude Ratio Data. *Earthquake Notes*, 55, No. 3, 15 pp.
- Waldhauser, F., 2001. hypoDD – A Programe to Compute Double-Difference Hypocenter Locations. U. S. Geol. Surv. Open File Rep. 01-113, 25 pp.
- Waldhauser, F., Ellsworth, W. L., 2000. A double-difference earthquake location algorithm: Method and application to the northern Hayward fault. *Bull. Seism. Soc. Am.* 90, 1353-1368.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1991. Free software helps map and display data. *EOS, Trans. AGU.*, Vol. 72 (441), 445-446 pp.
- Wessel, P., Smith, W.H.F., 1998. New, improved version of the Generic Mapping Tools released. *EOS, Trans. AGU*, Vol. 79, 579 pp.

RAZISKAVE KRAJEVNEGA VPLIVA MEHKIH SEDIMENTOV NA POTRESNO NIHANJE TAL NA OBMOČJU LJUBLJANE Z METODO MIKROTREMORJEV

STUDY OF THE SITE EFFECTS OF SOFT SEDIMENTS ON SEISMIC GROUND MOTION IN THE LJUBLJANA AREA USING MICROTREMOR METHOD

Andrej Gosar, Janez Rošar*

Povzetek

Ljubljana se nahaja na enem od treh območij v Sloveniji z največjo potresno nevarnostjo, obenem pa je to tudi najgosteje poseljeno območje Slovenije. Vpliv kvartarnih sedimentov na potresno nihanje tal lahko pričakujemo na celotnem mestnem območju, ki se nahaja v do 200 m globokem sedimentnem bazenu. Še posebno velik vpliv pa pričakujemo v južnem delu Ljubljane, ker je ta zgrajen na zelo mehkih jezerskih sedimentih. Zaradi pomanjkanja vrtin, geofizikalnih in seizmoloških podatkov, so obstoječe potresne mikrorajonizacije Ljubljane dokaj nezanesljive. Za oceno lastne frekvence sedimentov smo izvedli študijo z metodo spektralnega razmerja med vodoravno in navpično komponento (HVSR) zapisa mikrotremorjev. Meritve na prostem površju smo izvedli v 200 x 200 metrov gosti mreži točk (1.223 meritve) na 45 km² velikem območju. Analizirali smo eksperimentalne pogoje, ki lahko vplivajo na kvaliteto podatkov, kot je močan veter in zasičenje tal z vodo. Na celotnem južnem delu mesta smo dobili zelo jasne vrhove v spektralnem razmerju, medtem ko je bil odziv v severnem delu mesta v splošnem manjši zaradi manjšega impedančnega kontrasta med prodrom in skalno podlago. Karta lastnih frekvenc je pokazala njihovo porazdelitev v razponu 0,9-10 Hz. V južnem delu mesta je korelacija med frekvenco sedimentov in njihovo debelino, znano iz geofizikalnih podatkov in redkih vrtin, dobra. Povprečna amplituda HVSR vrhov je znatno višja v južnem (6,7±2,4) kot v severnem delu (4,0±2,0) mesta, kar kaže na visok impedančni kontrast med jezerskimi sedimenti in skalno podlago. Podatke o lastni frekvenci sedimentov smo uporabili za ugotavljanje nevarnosti resonance med tlemi in stavbami, v katerih so bile prav tako izvedene meritve mikrotremorjev, ki so opisane v posebnem članku (Šket Motnikar in drugi, 2010).

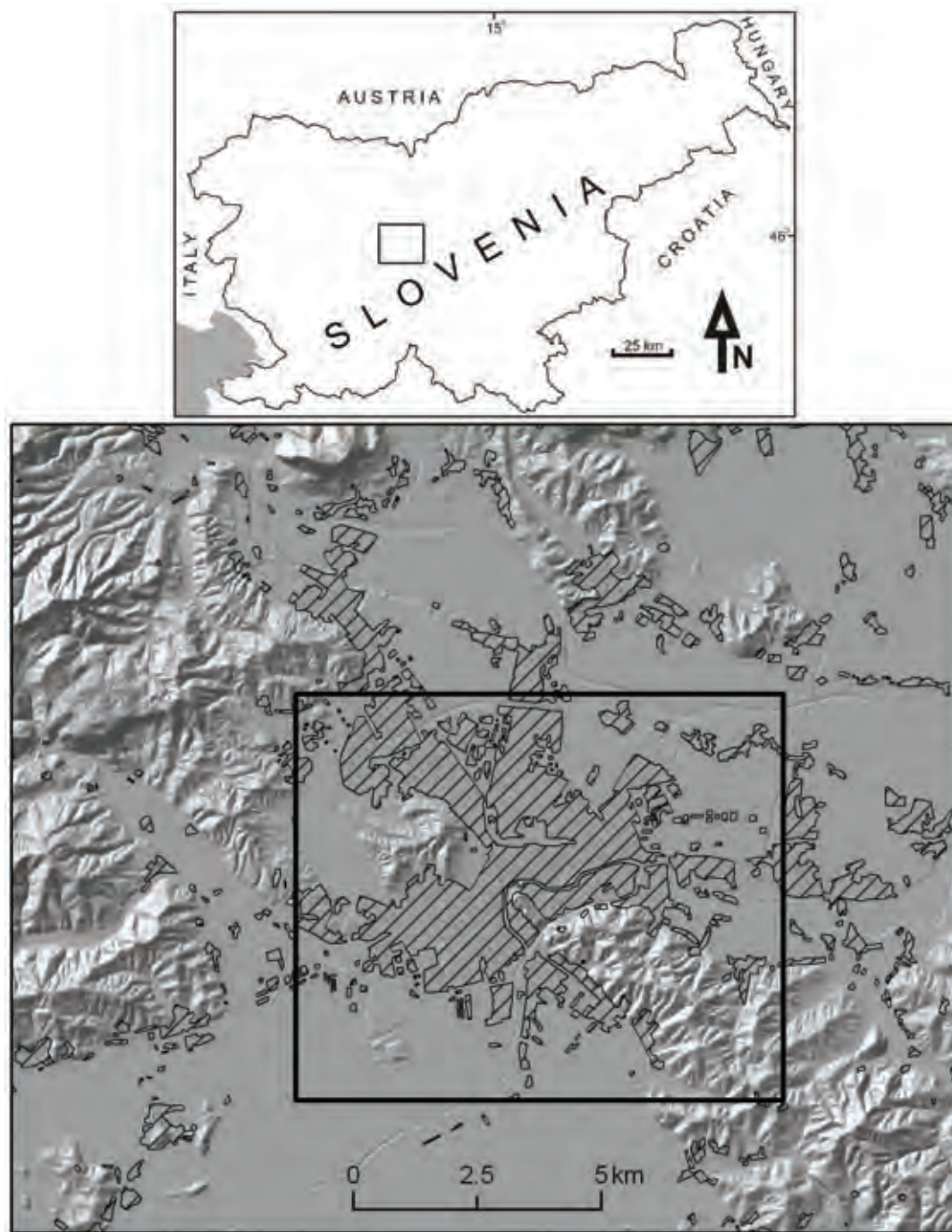
Uvod

Ljubljana se nahaja v plitvem sedimentnem bazenu, zapolnjenem s kvartarnimi sedimenti (slika 1). Širše območje Ljubljane je med potresno najbolj dejavnimi v Sloveniji (slika 2), čeprav v zadnjih 45 letih tu ni bilo potresov, ki bi povzročili poškodbe stavb. Zadnji tak potres se je zgodil leta 1963 na območju Litije (M=4,9) in je v Ljubljani dosegel intenziteto VI-VII stopnje po MSK

* Univerza v Ljubljani, Naravoslovnotehniška fakulteta

Abstract

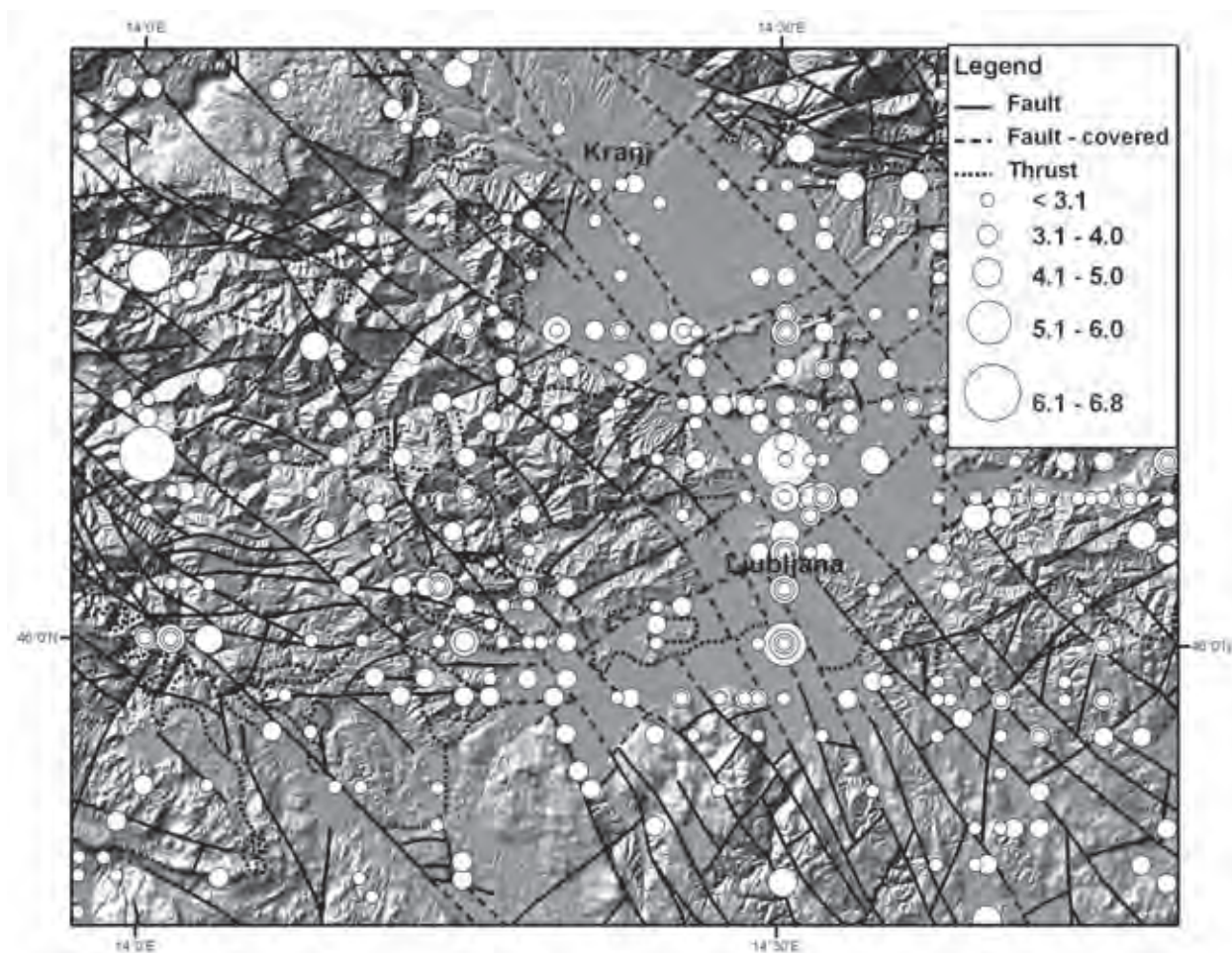
The city of Ljubljana is located in one among the three areas with the highest seismic hazard in Slovenia, being the one most densely populated. Site effects due to Quaternary sediments, which fill up to 200 m deep basin, are characteristic for the whole city area and can be especially strong in the southern part of Ljubljana, which is built on very soft lacustrine deposits. Existing microzonation studies of the city are inadequate, since there is a lack of borehole, geophysical and earthquake data. The microtremor horizontal-to-vertical spectral ratio (HVSR) method was therefore applied to a 200 m dense grid of free-field measurements over an area of 45 km² (1,223 measured points) in order to assess the fundamental frequency of the sediments. Experimental conditions which can influence data quality, such as strong wind and water saturation of soil, were analysed. Very clear HVSR peaks were obtained in the entire southern part of the city, whereas in the northern part the site response is in general lower, due to lower impedance contrast of gravel with the bedrock. The iso-frequency map of sediments shows a distribution in the range of 0.9–10 Hz. In the southern part of Ljubljana, sediment frequency correlates well with the thickness of soft sediments known from geophysical investigations and sparse drilling. Average amplitude of the HVSR peaks is considerably higher in the southern part (6.7±2.4) than in the northern part (4.0±2.0) of the city, indicating a high impedance contrast of lacustrine sediments with the bedrock. Soil fundamental frequency data was used to determine the danger of soil-structure resonance, taking into account microtremor measurements performed in buildings, which are described in a separate paper (Šket Motnikar et al., 2010)



Slika 1. Senčen relief širšega območja Ljubljane. Pravokotnik označuje območje raziskav z mikrotremorji. Šrafrano je urbano območje mesta Ljubljana.

Figure 1. Shaded relief of the Ljubljana basin. A rectangle indicates microtremor study area. Cross-hatched is the urbane area of Ljubljana.

lestvici. Največ poškodb je povzročil veliki ljubljanski potres leta 1895 ($M=6,1$), ki je imel največjo intenziteto VIII-IX po MSK lestvici (Ribarič, 1982). Najmočnejši zgodovinski potres v Sloveniji (Idrijski potres, $M=6,8$) pa je imel nadžarišče približno 30 km zahodno od Ljubljane, vendar njegova lokacija ni zanesljiva in potresni učinki na območju Ljubljane neznani. Na karti potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 475 let (Lapajne in drugi, 2001) se Ljubljana nahaja v območju s projektnim pospeškom 0,25 g. To je tudi najgosteje poseljeno območje v Sloveniji z več kot 300.000 prebivalci in številnimi pomembnimi industrijskimi in transportnimi objekti, kar je potrebno upoštevati v vsaki študiji za oceno potresne ogroženosti.



Slika 2. Seizmičnost širšega območja Ljubljane z generaliziranimi tektonskimi elementi (po Grad in Ferjančič, 1974; Premru, 1982).

Figure 2. Seismicity of wider Ljubljana region with generalized tectonic elements (after Grad and Ferjančič, 1974; Premru, 1982).

Vplive kvartarnih sedimentov na potresno nihanje tal lahko pričakujemo na območju celotnega mesta, še posebej velike pa v južnem delu Ljubljane, ki je zgrajen na zelo mehkih jezerskih sedimentih Ljubljanskega barja. Severni del mesta je zgrajen na ledeniško-rečnih nanosih reke Save, ki imajo boljše geotehnične značilnosti.

Na območju Ljubljane smo izvedli obsežne meritve z metodo spektralnih razmerij med vodoravnima in navpično komponento (HVSR) mikrotremorjev za določitev lastne frekvence sedimentov (Gosar in drugi, 2010). Izdelane karte dopolnjujejo obstoječo potresno mikrorajonizacijo Ljubljane in so osnova za oceno nevarnosti resonance med tlemi in stavbami v primeru potresa.

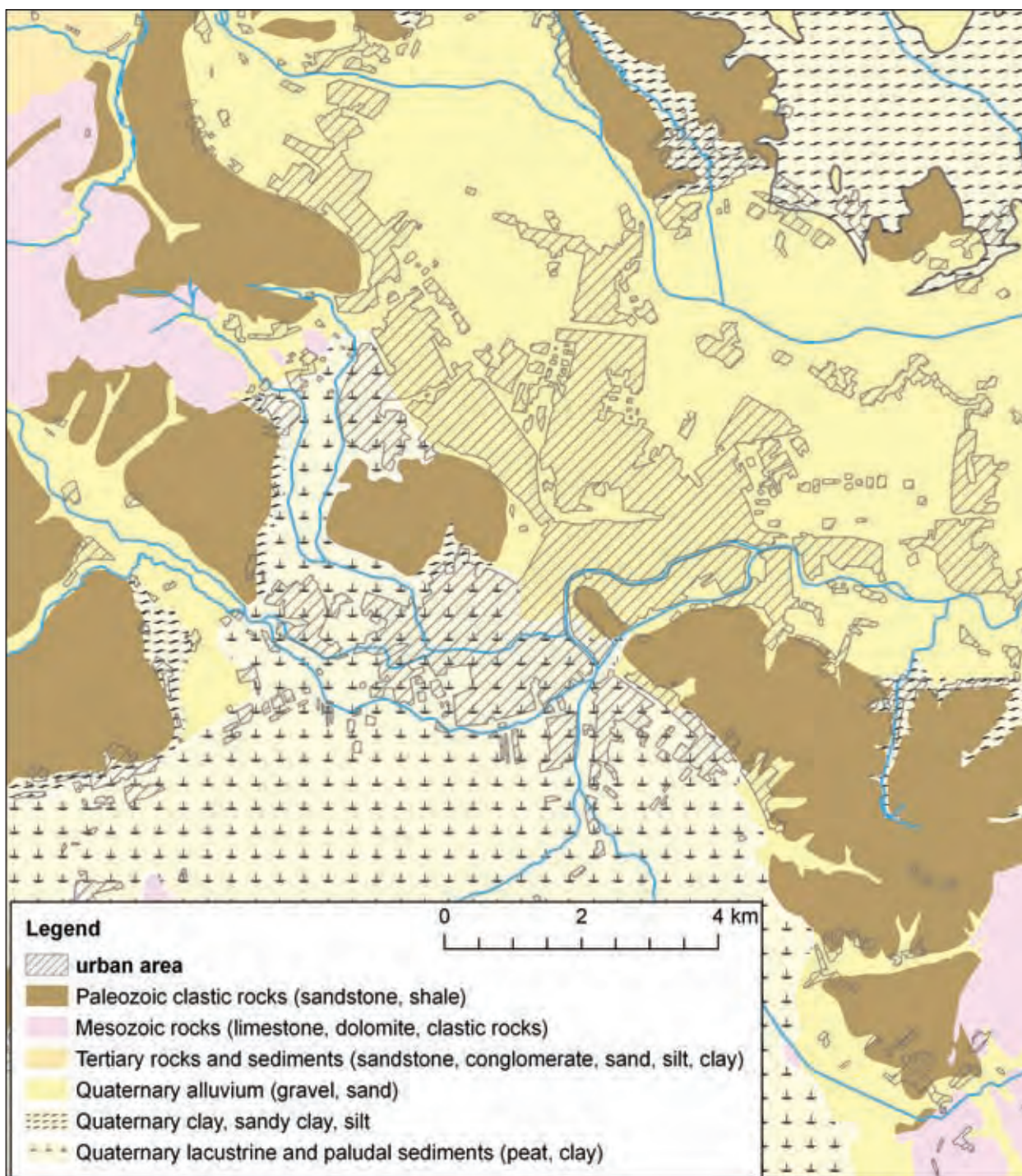
Geološka zgradba

Geološka zgradba območja Ljubljane je prikazana na sliki 3. V podlagi se nahajajo deloma karbonski in permski peščenjaki, konglomerati in laporji, deloma pa triasni in jurski apnenci in dolomiti (Mencej, 1989). Vse te kamnine izdajajo v gričevju, ki obrobja sedimentni bazen. Ta je nastal predvsem z ugrezanjem vzdolž številnih prelomov, ki je bilo največje v srednjem in zgornjem pleistocenu.

Severni del bazena (Ljubljansko polje) je zapolnjen s pleistocenskimi in holocenskimi ledeniško-rečnimi nanosi reke Save, ki so do 100 m debeli. Sestavlja jih predvsem karbonatni prod, v

katerem so plasti ali leče konglomerata (Grad in Ferjančič, 1974; Premru, 1982). Relief podlage ni zelo razgiban, vendar je vrtn ali podatkov geofizikalnih raziskav razmeroma malo.

Južni del bazena (Ljubljansko barje) je zapolnjen z jezerskimi in rečnimi nanosi, ki so precej heterogeni. Sestavljajo jih glina, prod, pesek, melj, jezerska kreda in šota (Grad in Ferjančič, 1974; Mencej 1989). Površinska plast je zelo mehka. Topografija skalne podlage je zaradi diferencialnega pogrezanja precej razgibana, globina do nje je od 0 do 200 m.



Slika 3. Poenostavljena geološka karta območja Ljubljane (po Grad in Ferjančič, 1974; Premru, 1982)

Figure 3. Simplified geological map of Ljubljana area (after Grad and Ferjančič, 1974; Premru, 1982).

Dosedanje mikrorajonizacije

Vpliv mehkih sedimentov na porazdelitev poškodb so zaznali že ob velikem ljubljanskem potresu leta 1895 (Suess, 1896). V takratnem času je imela Ljubljana 1.400 stavb, 10% je bilo tako poškodovanih, da so jih morali porušiti (Ribarič, 1994).

Prvo potresno mikrorajonizacijo so izdelali na podlagi osnovne geološke karte, podatkov iz geotehničnih vrtn in seizmičnih refrakcijskih meritev s P-valovi na 441 lokacijah (Lapajne, 1970). Prirastke tal po MSK lestvici so izračunali po metodi Medvedeva (1965). Karta potresne mikrorajonizacije je bila izdana leta 1971 (AGO, ZRMK, GZ, 1971). Kasneje so jo uporabili skupaj s karto potresne nevarnosti Slovenije za povratno dobo 500 let, ki podaja intenzitete po MSK lestvici (Ribarič, 1987), na kateri se Ljubljana nahaja v območju intenzitete VIII. Po tej mikrorajonizaciji se intenziteta zaradi vpliva mehkih sedimentov lahko poveča za do 1,5 stopnje na območju Ljubljanskega barja in do ene stopnje v severnem delu Ljubljane. Skoraj povsem enako karto potresne mikrorajonizacije so predstavili tudi v študiji potresne ogroženosti Ljubljanskih občin (Vidrih in drugi, 1991).

Po pripravi nove karte potresne nevarnosti (Lapajne in drugi, 2001), ki podaja projektni posepek tal, je nastala potreba po novi mikrorajonizaciji, ki bi temeljila na standardu Evrokod 8 (CEN, 2004; SIST EN 1998-1:2005) in bi podajala faktorje tal. Prvo tako karto, ki pa je temeljila le na obstoječih podatkih, so pripravili Zupančič in drugi (2004). Pri tem so uporabili za klasifikacijo tal geološko karto in grobo oceno hitrosti S-valovanja na podlagi obstoječih hitrosti P-valovanja. Na tej karti (slika 4) je večina severnega dela Ljubljane uvrščena v vrsto tla C, manjši del pa v vrsto tal D. V južnem delu mesta je bila večina Ljubljanskega barja uvrščena v vrsto S1, za katero je bil na podlagi nekaterih meritev hitrosti S-valovanja določen faktor tal 2,55. Za ostale vrste tal so faktorji tal v Evrokod 8 naslednji: C - 1,15, D - 1,35 in E - 1,4. Faktor za vrsto tal E je bil kasneje v slovenskem dodatku k standardu spremenjen v 1,7 (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005).

Metoda mikrotremorjev

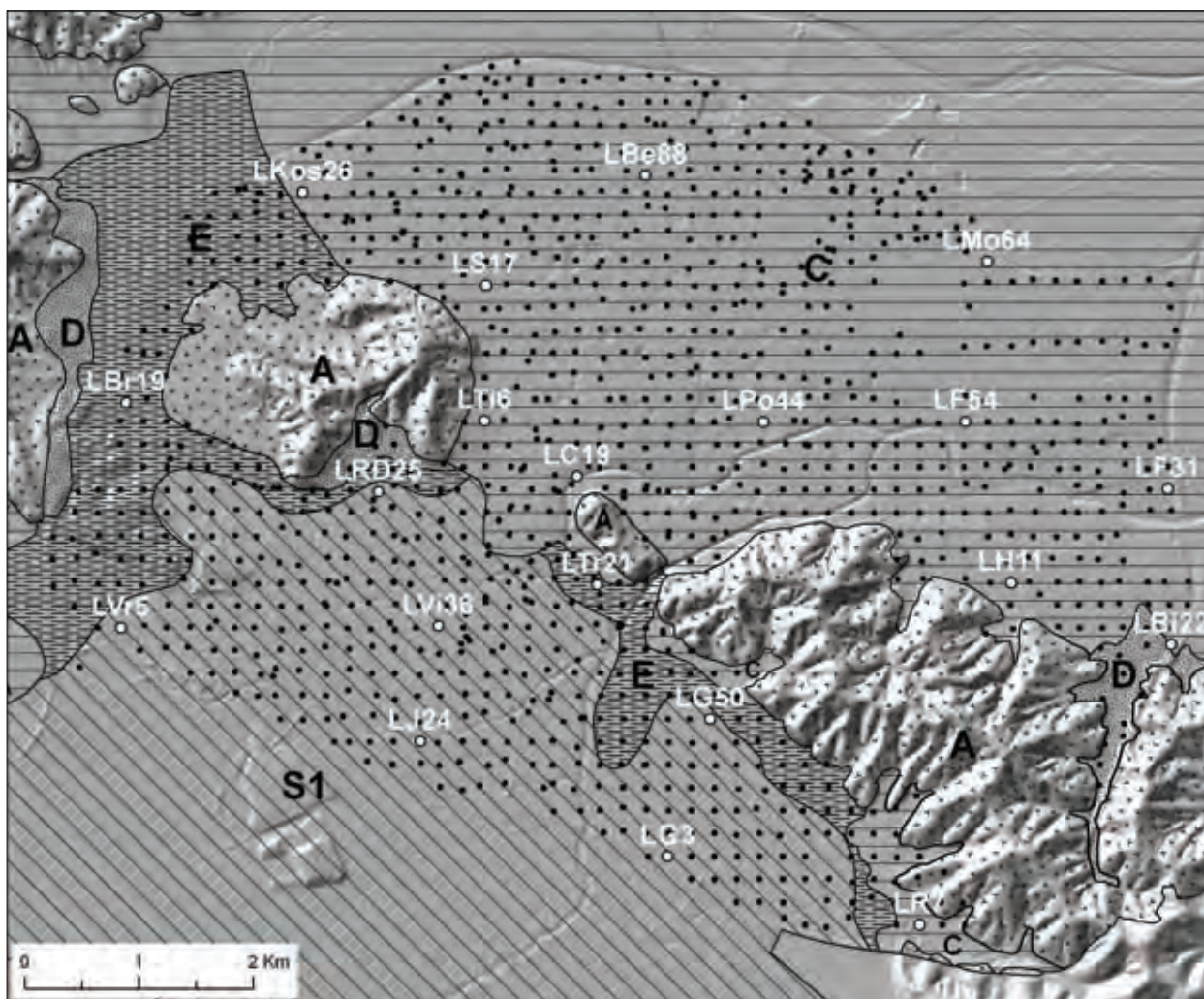
V zadnjem desetletju se je metoda spektralnega razmerja med vodoravnima in navpično komponento (Horizontal-to-Vertical Spectral Ratio - HVSR) mikrotremorjev široko uveljavila pri raziskavah vpliva lokalne geološke zgradbe na potresno nihanje tal in pri potresni mikrorajonizaciji (Bard, 1999). Kljub temu teoretično ozadje metode še ni enoznačno pojasnjeno, saj obstojajo različne razlage, ki so še predmet raziskovanj. Nakamura (2000) zagovarja razlago resonance strižnega valovanja v mehkih sedimentih, po kateri v mikrotremorjih torej prevladuje prostorsko valovanje, medtem ko naj bi bil prispevek površinskega valovanja zanemarljiv. Bolj široko sprejeta (Bard, 1999; Bonnefoy-Claudet in drugi, 2006) je razlaga, po kateri v mikrotremorjih prevladuje površinsko valovanje, spektralno razmerje (HVSR) pa odraža eliptičnost Rayleighjevega valovanja, ki je frekvenčno odvisno. HVSR ima izrazit vrh pri lastni frekvenci paketa sedimentov, če obstaja velik impedančni kontrast med njimi in skalno podlago. Kritike te metode so se v preteklosti nanašale predvsem na to, da ni bilo standardiziranih postopkov meritev in obdelave podatkov (Mucciarelli in Gallipoli, 2001), kar se je popravilo z izdelavo priporočil v okviru evropskega projekta SESAME (SESAME, 2004). Danes je široko sprejeto, da vrh v spektralnem razmerju odraža lastno frekvenco sedimentov. Amplituda tega vrha je odvisna predvsem od impedančnega kontrasta med sedimenti in skalno podlago, a je ne moremo uporabiti kot kvantitativno oceno ojačenja potresnega nihanja tal. Metoda mikrotremorjev tudi ne podaja ocene celotnega frekvenčnega območja, v katerem pride do ojačenja potresnega nihanja tal. Glavna njena prednost je, da podaja resonančno frekvenco sedimentov, ne da bi poznali njihovo debelino in hitrost strižnega valovanja. Meritve mikrotremorjev so razmeroma preproste, hitre in poceni. Zato je mogoče raziskave izvesti v mnogo bolj gosti mreži merskih točk kot s katero koli drugo metodo, ki temelji na geofizikalnih raziskavah, vrtnanju ali registraciji potresov. Poznavanje debeline in/ali hitrosti strižnega valovanja in primerjave rezultatov mikrotremorjev z rezultati drugih metod ali dejanskih učinkov potresov lahko znatno izboljša zanesljivost interpretacije podatkov mikrotremorjev (Bard, 1999).

Metoda mikrotremorjev se je kasneje razširila še na določanje glavnih lastnih frekvenc nihanja stavb (Mucciarelli in drugi, 2001; Gallipoli in drugi, 2004a) in raziskave resonance med tlemi in objekti. Povečanje učinkov zaradi resonance med tlemi in objekti so z metodo mikrotremorjev proučevali za potres Umbria-Marche (Mucciarelli in Monachesi, 1998; Natale in Nunziata, 2004), potres v Solunu (Panou in drugi, 2005), potres v Molise (Gallipoli in drugi, 2004b), v Bovški kotlini za potresa v Zgornjem Posočju (Gosar, 2007) in na območju Ilirske Bistrice (Gosar in Martinec, 2009).

Meritve mikrotremorjev in njihova analiza

Pri meritvah smo uporabljali šest prenosnih seizmografov Tromino (Micromed, 2005), ki jih sestavljajo trije med seboj pravokotni elektrodinamični hitrostni senzorji, GPS sprejemnik, digitalizator in zajemalna enota s spominsko kartico. Vsi deli so integrirani v skupnem ohišju, kar zmanjšuje elektronski in mehanski šum, ki je sicer pogost zaradi kablov, ki povezujejo posamezne komponente. V frekvenčnem območju 0,1-10 Hz je lastni šum seizmografa mnogo manjši od tistega, ki ga podaja standardni model seizmičnega nemira Zemlje.

Znotraj avtocestnega obroča ljubljanske obvoznice smo raziskali 45,5 km² veliko območje v mreži točk gostote približno 200 x 200 m (slika 4). Skupno smo opravili 1.223 meritev, kar pomeni



Slika 4. Potresna mikrorajonizacija Ljubljane z vrstami tal po Evrokod 8 (po Zupančič in drugi, 2004). Točke označujejo meritve mikrotremorjev, točke z imenom pa primere meritev, ki so prikazani na slikah 5 in 6.

Figure 4. Seismic microzonation of Ljubljana according to Eurocode 8 ground types (after Zupančič et al., 2004). Dots indicate points of microtremor measurements; labelled dots are examples of measurements shown in Figures 5 and 6.

v povprečju 26,9 merskih točk na km². Za načrtovanje mreže točk in kasnejši izris kart smo uporabili programsko orodje GIS. Lokacije meritev smo pazljivo izbrali, da smo se kolikor je bilo le mogoče izognili drevesom, zgradbam, podzemnim objektom in komunikacijam ter vplivu prometa. V gosto naseljenem območju to seveda ni bilo povsod mogoče. V nekaterih industrijskih conah pa meritve sploh niso bile mogoče. Da smo dosegli dober stik seizmografa s tlemi, smo uporabili dolge konice, privite v njegovo dno. Na vsaki točki smo s frekvenco vzorčevanja 128 Hz merili potresni nemir 20 minut, kar omogoča zanesljivo spektralno analizo do vsaj 0,5 Hz na spodnjem robu frekvenčnega območja (SESAME, 2004).

Glavne težave pri meritvah je povzročal visok nivo šuma zaradi prometa in industrije ter podzemni objekti in komunikacije. V splošnem so bili pogoji slabši v severnem delu mesta, kjer so večja industrijska območja in številnejše podzemne komunikacije. Za to območje je značilno tudi, da ponekod ni bilo zaznati jasne lastne frekvence. Domnevamo, da bi bil lahko razlog v prisotnosti plasti ali leč konglomerata znotraj proda, ki zakrije glavni impedančni kontrast s skalno podlago.

Analizo spektralnih razmerij smo izvedli po naslednjem postopku. Posnete seizmogramе smo pregledali, da bi ugotovili morebitne napake v meritvah in močnejše prehodne motnje. Vsak seizmogram smo nato razdelili v 30-sekundna okna, za katera smo izračunali amplitudne spektre v frekvenčnem območju 0,5-64 Hz z uporabo trikotnega okna in 5 % glajenja. Podatke smo popravili tudi za prenosno funkcijo senzorja. Sledil je izračun spektralnega razmerja kot povprečja amplitudnega spektra obeh vodoravnih komponent deljenih z navpično komponento (HVSR) za vsako okno posebej. Na barvnem prikazu HVSR funkcij vseh 40-ih oken smo identificirali okna z močnejšimi prehodnimi motnjami in jih izločili iz nadaljnjega izračuna. Na koncu smo izračunali povprečno HVSR funkcijo za vsa okna s pripadajočim 95 % intervalom zaupanja.

Rezultati in interpretacija

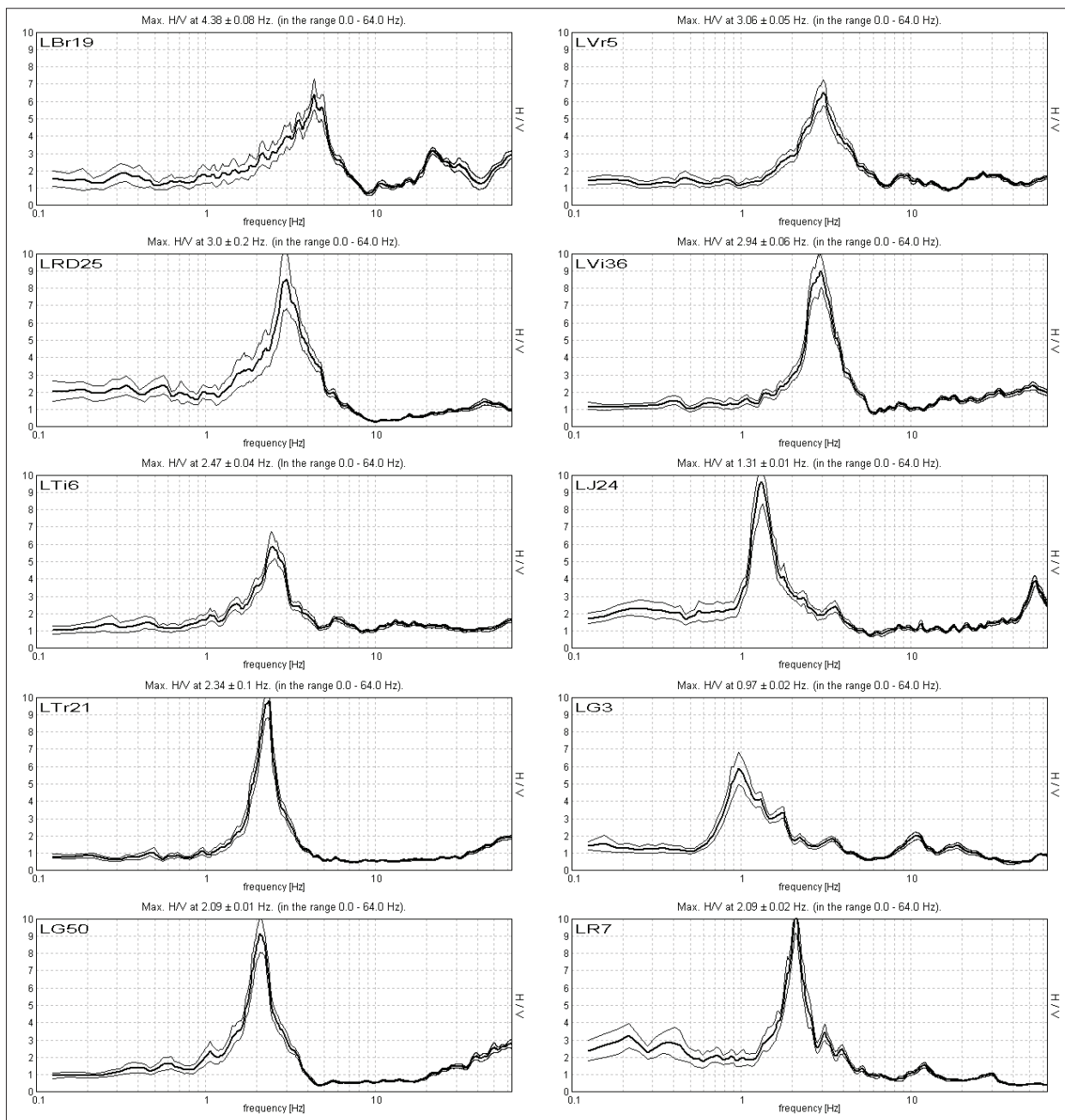
Analize spektralnih razmerij (HVSR) so pokazale, da večina meritev izpolnjuje kriterije, ki so jih opredelili v okviru evropskega projekta SESAME (SESAME, 2004). Trije od teh kriterijev o zanesljivosti HVSR krivulje temeljijo na razmerju med frekvenco vrha in dolžino okna, številu značilnih ciklov in standardnem odklonu amplitude vrha. Naslednjih šest kriterijev za jasen vrh temelji na razmerju med amplitudo vrha in nivojem HVSR krivulje drugod in na standardnem odklonu frekvence vrha in njene amplitude (amplituda se mora na obeh straneh hitro zmanjševati). Pri meritvah na območju Ljubljane so bili glavni razlogi za neizpolnjevanje teh kriterijev: a) visok nivo motenj, b) dva ali več vrhov v spektru ali c) prenizka amplituda vrha.

Zelo jasne vrhove v spektralnem razmerju smo dobili v celotnem južnem delu mesta (slika 5). Visoke amplitude HVSR vrhov kažejo na močan impedančni kontrast med sedimenti in skalno podlago. Časovna stabilnost signala je bila v splošnem dobra, kar se odraža v ozkem območju 95 % intervala zaupanja povprečne krivulje. V severnem delu mesta je bila večina meritev prav tako dobra (slika 6), čeprav je odziv v splošnem manjši zaradi manjšega impedančnega kontrasta proda s skalno podlago. V tem delu so bila tudi nekatera območja, za katere so bile značilne zelo nizke amplitude HVSR krivulje ali celo njena ploskost. Spričo navedenega je bila povprečna amplituda HVSR vrha znatno večja v južnem delu ($6,7 \pm 2,4$) kot v severnem delu ($4,0 \pm 2,0$) mesta (slika 7).

V južnem delu mesta (slika 5) je v spektralnem razmerju večinoma viden oster vrh, ki je dokaj simetričen (LRD25, LTr21, LG50, Lvi36 in LJ24). Pogosto se pojavlja tudi asimetričen vrh s sekundarnim vrhom pri višji frekvenci, kot je frekvenca glavnega vrha (LG3 in LR7). V severnem delu mesta (slika 6) so ostri enojni vrhovi manj pogosti (LH11). Bolj pogosta so spektralna razmerja z dodatnimi vrhovi pri višjih frekvencah, ki pa so večinoma dobro ločeni od glavnega vrha (LC19, LF31 in LBi22). Ti dodatni vrhovi kažejo na bolj zapleteno strukturo, ki ne obsega le glavnega impedančnega kontrasta s podlago, ampak na dodatne impedančne meje znotraj heterogenih sedimentov. Vrednosti HVSR manjše od 1 v širokem frekvenčnem območju, ki so vidne v nekaterih meritvah (LTr21 in LG50 na sliki 5 ter LMo64 na sliki 6) lahko kažejo na hitrostno inverzijo

znotraj sedimentov. Če je HVSR manjši od 1 samo v ozkem frekvenčnem območju pri približno dvojni glavni rezonanci (LRD25 na sliki 5 in LH11 na sliki 6), pa je to posledica učinka eliptičnosti Rayleighjevega valovanja (Fäh in drugi, 2001). Le v redkih primerih se stranski vrh pojavi pri frekvenci, nižji od frekvence glavnega vrha. Zato je dokaj zanesljivo, da pri večini meritev glavni vrh v HVSR krivulji ustreza najmočnejšemu impedančnemu kontrastu med sedimenti in podlago.

Razlogi za majhno amplitudo vrha ali celo popolnoma plosko spektralno razmerje (npr. LPo44 in LF54 na sliki 6) v nekaterih predelih na severu in severovzhodu raziskanega območja niso povsem jasni. Možen razlog je lahko prisotnost konglomerata znotraj peščeno-prodnega zasipa,

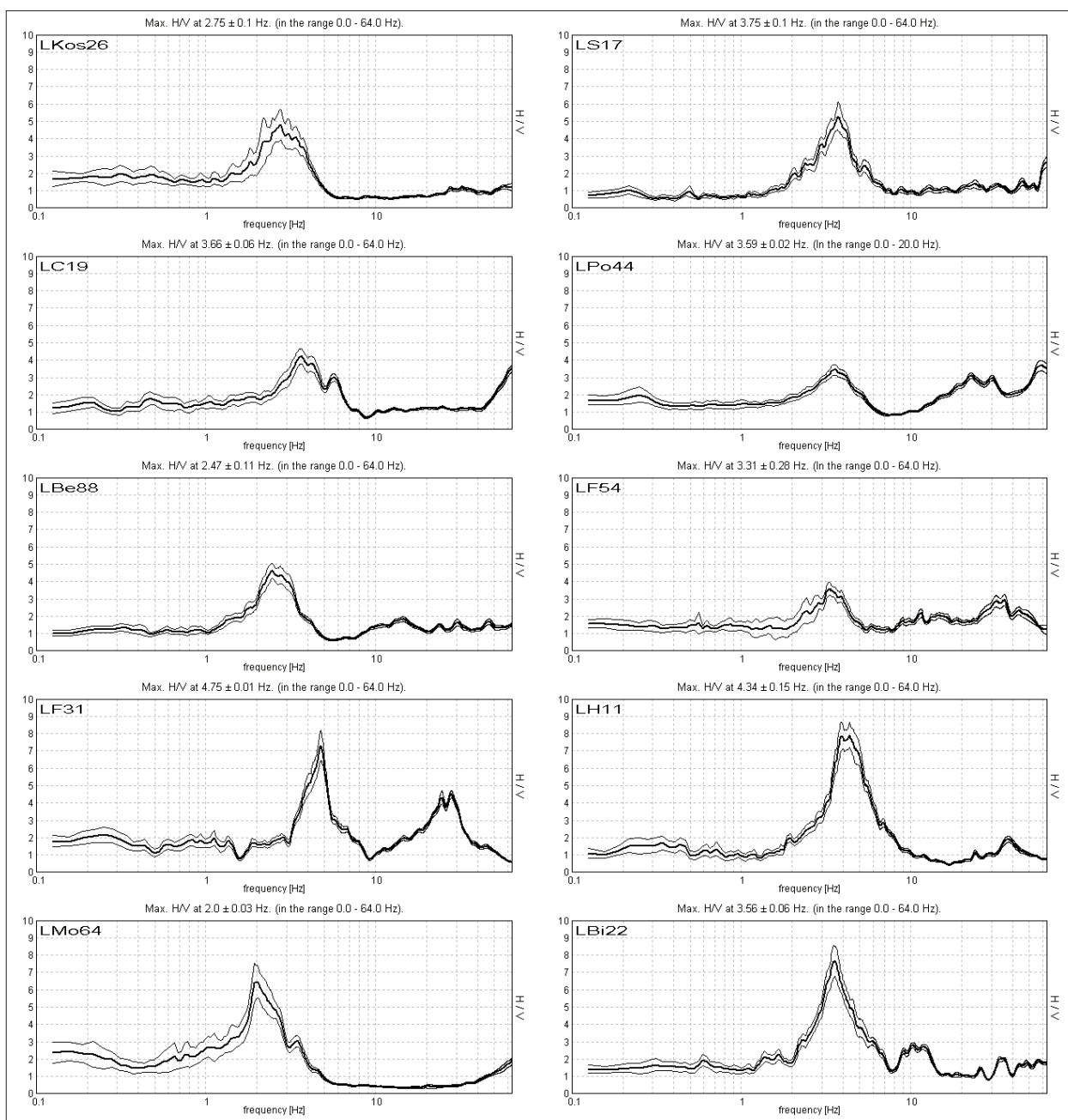


Slika 5. Izbrane meritve mikrotremorjev (HVSR analiza) iz južnega dela Ljubljane. Tanke črte predstavljajo 95 % interval zaupanja.

Figure 5. Selected microtremor measurements (HVSR analyses) from the southern part of Ljubljana. Thin lines represent 95 % confidence interval.

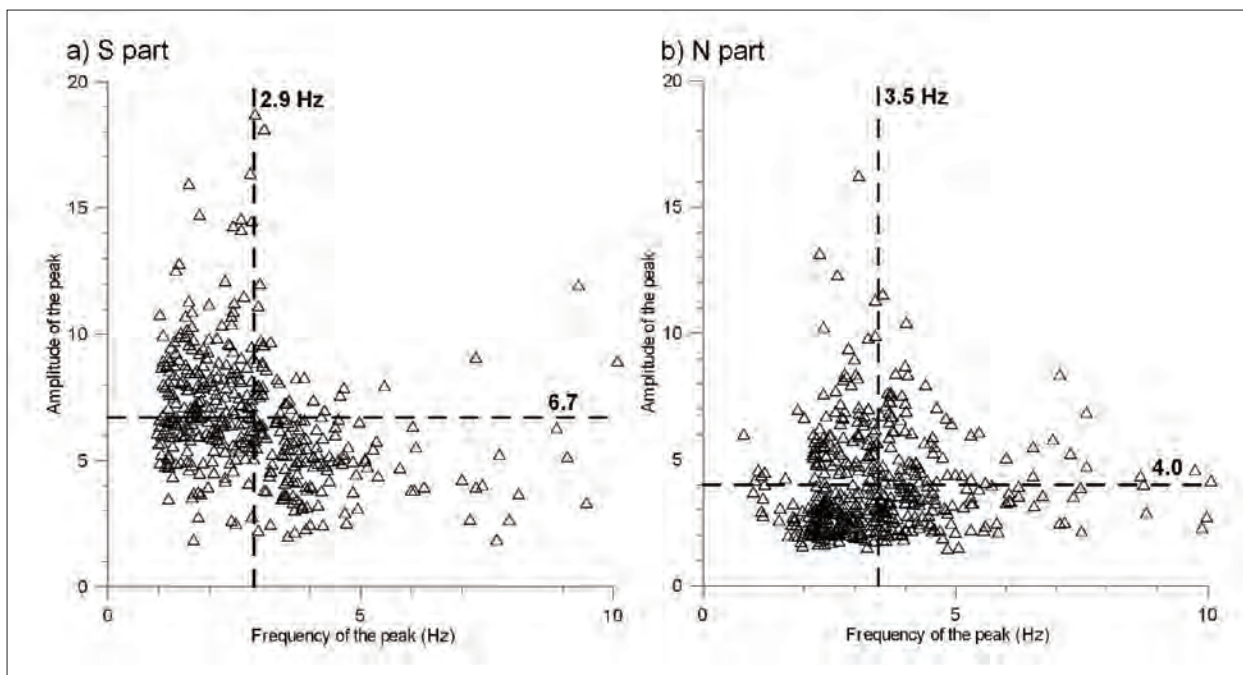
ki je značilen za to območje, vendar njegovega obsega ne poznamo zaradi preredkih vrtn. Slabo sprijet konglomerat domnevno zmanjšuje ali zakrije glavni impedančni kontrast na meji med nevezanimi sedimenti in skalno podlago. Po drugi strani je na tem območju nekaj večjih industrijskih con, kjer niso izključene obsežnejše podzemne komunikacije, ki lahko vplivajo na meritve.

Eksperimentalni pogoji meritev mikrotremorjev lahko znatno vplivajo na kvaliteto in zanesljivost podatkov (Chatelain in drugi, 2008; Mucciarelli in drugi, 2005). To se je pokazalo tudi pri naših raziskavah. Zato smo ponovili meritve na nekaterih lokacijah, kjer so prve meritve potresnega nemira dale slabe rezultate. Dva primera ponovljenih meritev sta prikazana na sliki 8. Na točki LRD20 smo prve meritve izvedli ob močnem vetru. Izrazite motnje so zato dominirale



Slika 6. Izbrane meritve mikrotremorjev (HVSR analiza) iz severnega dela Ljubljane. Tanke črte predstavljajo 95 % interval zaupanja.

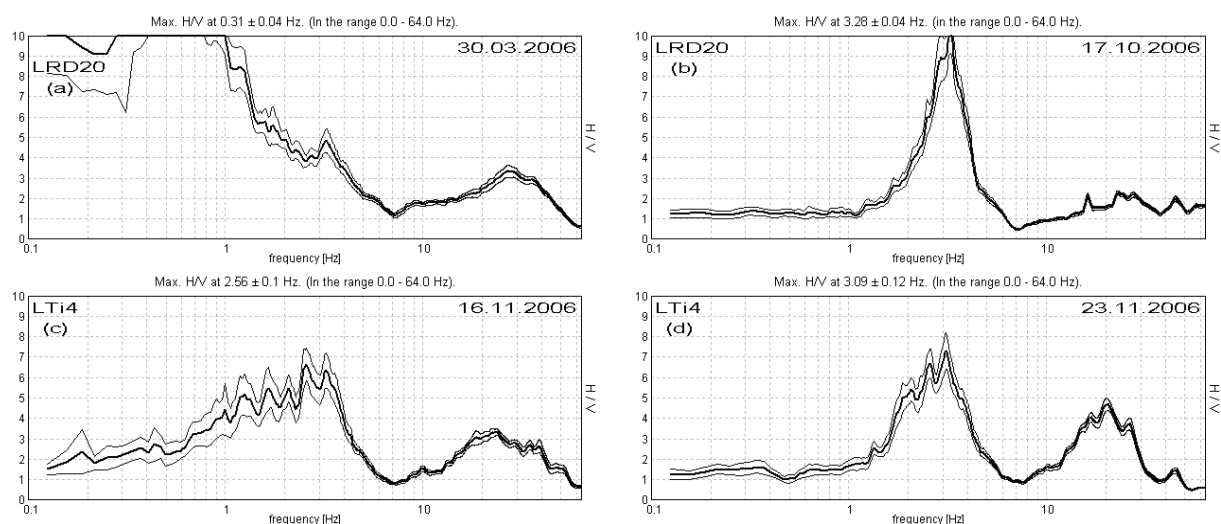
Figure 6. Selected microtremor measurements (HVSR analyses) from the northern part of Ljubljana. Thin lines represent 95 % confidence interval.



Slika 7. Diagram odvisnosti amplitude od frekvence vrhov HVSR krivulj za vse meritve mikrotremorjev v južnem (a) in severnem (b) delu Ljubljane. Povprečne vrednosti so prikazane črtkano.

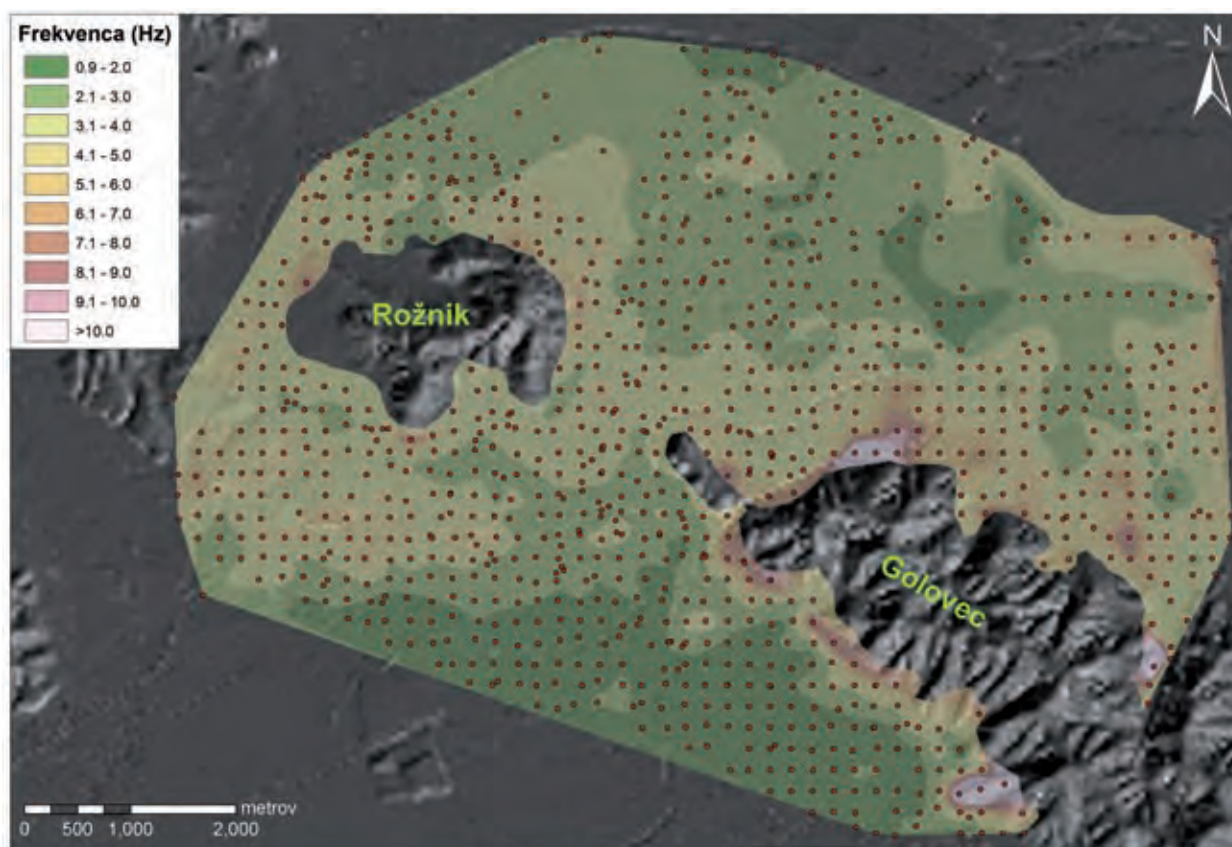
Figure 7. Amplitude vs. frequency graph of HVSR peaks for all microtremor measurements in the southern (a) and northern (b) part of Ljubljana. Average values are shown with dashed lines.

v amplitudnem spektru pod 2 Hz, kar je povzročilo neuporabno spektralno razmerje (slika 8a). Ponovljene meritve ob brezvetrju pa so pokazale jasen vrh HVSR krivulje (slika 8b). Prva meritev na točki LTi4 je bila opravljena kmalu po nekajdnevem deževju, ko so bila tla nasičena z vodo. To je lahko vplivalo na spoj seizmografa s tlemi, kot nakazuje več vrhov HVSR krivulje (slika 8c). Analiza spektrov posameznih komponent ni pokazala, da bi bile lahko vir teh vrhov antropogene prehodne motnje. Teden dni kasneje, ko so bila tla suha, smo meritve ponovili in dobili precej bolj jasno HVSR krivuljo (slika 8d).



Slika 8. Vpliv eksperimentalnih pogojev na meritve mikrotremorjev. LRD20 (a) meritve v močnem vetru, (b) meritve v brezvetrju. LTi4 (c) meritve, ko so bila tla nasičena z vodo po nekajdnevem dežju, (d) meritve na suhih tleh.

Figure 8. Influence of experimental conditions on microtremor measurements. LRD20 a) measurements during strong wind, b) measurements during no wind. LTi4 c) soil saturated with water after few days of rainfall, d) measurements on dry soil.



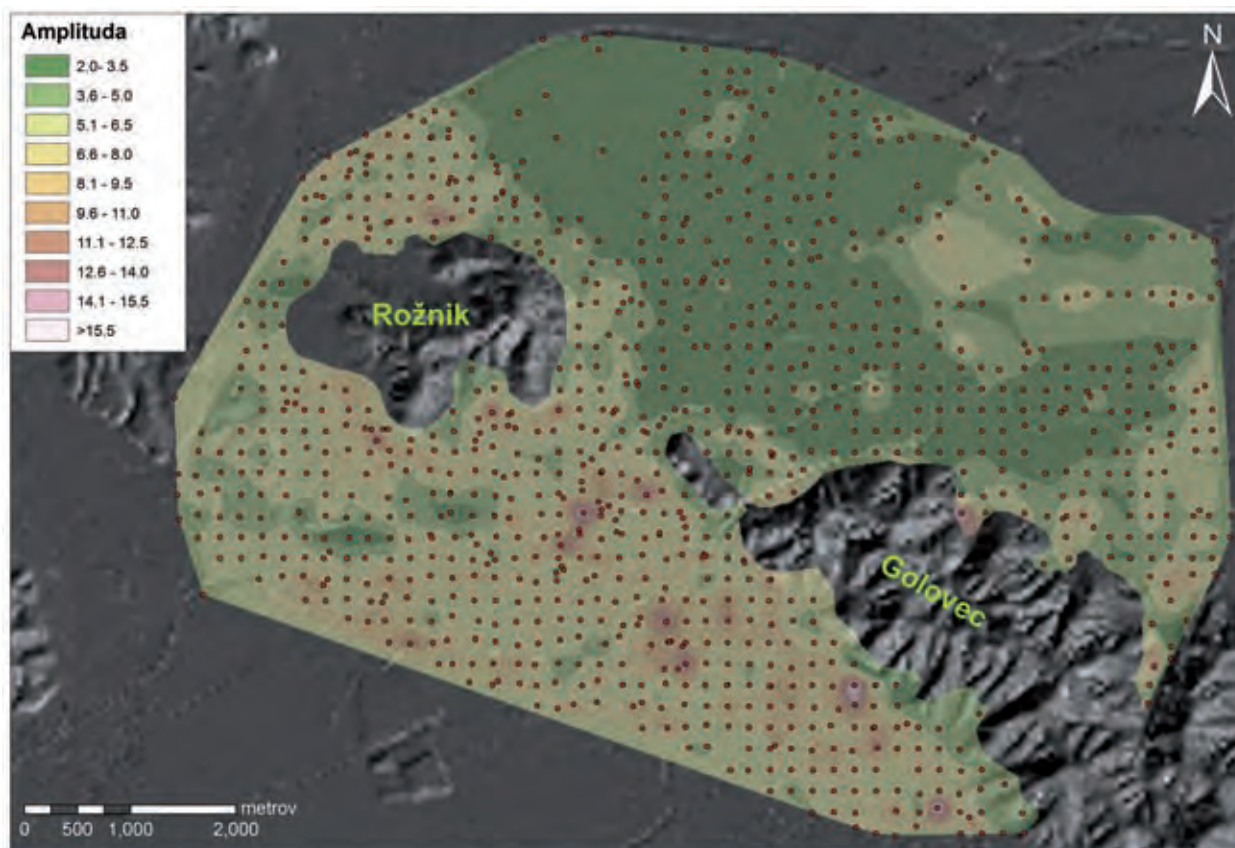
Slika 9. Karta resonančne frekvence sedimentov izdelana na podlagi meritev na prostem površju.

Figure 9. Map of sediments' resonance frequency derived from free-field microtremor data.

Na podlagi meritev na 999 točkah, ki so dale dovolj jasne vrhove v spektralnem razmerju, da smo lahko opredelili resonančno frekvenco sedimentov, smo izrisali dve karti: karto lastnih frekvenc sedimentov (slika 9) in karto amplitud vrhov HVSR krivulj (slika 10).

Karta lastnih frekvenc (slika 9) kaže njihov razpon v območju 0,9-10 Hz. V južnem delu Ljubljane se lastna frekvenca dobro ujema s spremembami v debelini sedimentov, ki jo poznamo iz geofizikalnih raziskav in nekaterih vrtin. Debelina sedimentov v splošnem narašča proti jugu, lastna frekvenca pa upada v isti smeri. Povprečna lastna frekvenca v južnem delu Ljubljane je $2,9 \pm 1,5$ Hz (slika 7a). V severnem delu Ljubljane, ki je zapolnjen predvsem s prodom, v katerem so plasti in leče konglomerata, je korelacija med debelino sedimentov in lastno frekvenco manj značilna, čeprav je njihova debelina v splošnem manj spremenljiva kot v južnem delu. Vendar za to območje ni na voljo skoraj nič geofizikalnih podatkov, vrtine pa so zelo neenakomerno razporejene. Povprečna lastna frekvenca v severnem delu Ljubljane je $3,5 \pm 1,4$ Hz (slika 7b).

Karta amplitud vrhov HVSR krivulj (slika 10) kaže njihov razpon v območju 2-15, le na posameznih točkah so vrednosti višje. V severnem delu mesta je nekaj večjih območij, kjer so amplitude vrhov nizke (pod 3), predvsem v osrednjem delu. Možni razlogi za šibek odziv so opisani zgoraj. Povprečna amplituda HVSR vrhov v severnem delu Ljubljane je $4,0 \pm 2,0$ (slika 7b). V južnem delu je povprečna amplituda vseh vrhov ($6,7 \pm 2,4$) mnogo višja (slika 7a). Območje z visokimi amplitudami (nad 5), ki kažejo na velik impedančni kontrast med jezerskimi sedimenti in skalno podlago, se dobro ujema z območjem, klasificiranim kot vrsta tal S1 (slika 4) po Evrokod 8 v predhodni potresni mikrorajonizaciji (Zupančič in drugi, 2004). Vidi se tudi več izoliranih območij z zelo visokimi amplitudami (nad 10), vendar zanje nismo našli korelacije s površinsko geološko zgradbo ali debelino sedimentov.



Slika 10. Karta amplitud vrhov HVSR krivulj.

Figure 10. Map of microtremor HVSR peak amplitudes.

Zaključek

Raziskave z metodo mikrotremorjev na prostem površju na območju Ljubljane so podale dobre podatke o lastni frekvenci nevezanih sedimentov, odloženih na skalni podlagi. Pri tem se je potrdila prednost uporabljene metode, ki za oceno lastne frekvence ne zahteva poznavanja debeline sedimentov in hitrosti strižnega valovanja v njih. Če bi želeli v podobno gosti mreži točk (več kot tisoč meritev) uporabiti za oceno lastne frekvence numerično modeliranje, bi to zahtevalo zelo obsežne, dolgotrajne in drage geofizikalne raziskave ter raziskovalno vrtnanje. Metoda mikrotremorjev omogoča tudi učinkovito določitev vzdolžne in prečne lastne frekvence nihanja stavb. Na območju Ljubljane so bile tovrstne meritve opravljene v več kot 200 stavbah (Šket Motnikar in drugi, 2010). Ti rezultati so bili skupaj s podatki o lastni frekvenci sedimentov uporabljeni za ugotavljanje nevarnosti resonance med tlemi in stavbami, kar lahko pomembno prispeva k povečanju poškodb stavb v primeru potresa. Na podlagi meritev v številnih stavbah smo lahko opredelili tudi odnos med njihovo višino in lastno frekvenco. To pa omogoča oceno nevarnosti resonance za večino stavb na raziskanem območju Ljubljane, za katere poznamo višino in vrsto gradnje.

Literatura

- Astronomsko geofizikalni observatorij, Zavod za raziskavo materialov in Geološki zavod, 1971: Karta seizmične mikrorajonizacije Ljubljana, Ljubljana.
- Bard, P.Y. 1999: Microtremor measurements: a tool for site effect estimation? In: Irikura, K., Kudo, K., Okada, H., Sasatami, T. (eds): The Effects of Surface Geology on Seismic Motion, Balkema, Rotterdam, 1251-1279.

- Bonnefoy-Claudet, S., Cornou, C., Bard, P.Y., Cotton, F., Moczo, P., Kristek, J., Fäh, D. 2006: H/V ratio: a tool for site effects evaluation. Results from 1-D noise simulations. *Geophys J Int* 167: 827-837.
- CEN 2004: Eurocode 8, Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings. European Committee for Standardization.
- Chatelain, J. L., Guillier, B., Cara, F., Duval, A.M., Atakan, K., Bard, P.Y. 2008: Evaluation of the influence of experimental conditions on H/V results from ambient noise recordings. *Bull Earthq Eng* 6/1:33-74.
- Fäh, D., Kind, F., Giardini, D. 2001: A theoretical investigation of average H/V ratios. *Geophys J Int* 145:535-549.
- Gallipoli, M.R., Mucciarelli, M., Castro, R.R., Monachesi, G., Contri, P. 2004a: Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors. *Soil Dyn Earthq Eng* 24:487-495.
- Gallipoli, M.R., Mucciarelli, M., Eeri, M., Gallicchio, S., Tropeano, M., Lizza, C. 2004b: Horizontal to Vertical Spectral Ratio (HVSr) measurements in the area damaged by the 2002 Molise, Italy, earthquake. *Earthq Spect* 20/1:81-93.
- Gosar, A. 2007: Microtremor HVSr study for assessing site effects in the Bovec basin (NW Slovenia) related to 1998 Mw5.6 and 2004 Mw5.2 earthquakes. *Eng geol* 91:178-193.
- Gosar, A., Martinec, M. 2009: Microtremor HVSr study of site effects in the Ilirska Bistrica town area (S Slovenia). *J Earthq Eng* 13:50-67.
- Gosar, A., Rošar, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. 2010: Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (central Slovenia). *Bulletin of Earthquake Engineering*, 8, 571-592.
- Grad, K., Ferjančič, L. 1974: Osnovna geološka karta 1: 100.000 - list Kranj. Geološki zavod Ljubljana.
- Medvedev, S.V. 1965: Inženjerska seizmologija. Gradjevinska knjiga, Beograd, 268 str.
- Mencej, Z. 1989: Prodni zasipi pod jezerskimi sedimenti Ljubljanskega barja. *Geologija* 31-32:517-553.
- Micromed, 2005: Tromino user manual. Micromed, Treviso.
- Mucciarelli, M., Monachesi, G. 1998: A quick survey of local amplifications and their correlation with damage observed during the Umbro-Marchesan (Italy) earthquake of September 26, 1997. *J Earthq Eng* 2/2:325-337.
- Mucciarelli, M., Gallipoli, M.R. 2001: A critical review of 10 years of microtremor HVSr technique. *Boll Geof Teor Appl* 42:255-266.
- Nakamura, Y. 2000: Clear identification of fundamental idea of Nakamura's technique and its applications. 12WCEE, Auckland.
- Natale, M., Nunziata, C. 2004: Spectral amplification effects at Sellano, Central Italy, for the 1997-98 Umbria seismic sequence. *Nat Haz* 33:365-378.
- Lapajne, J. 1970: Potresna mikrorajonizacija Ljubljane - geofizikalne raziskave. Geološki zavod Ljubljana, 16. str.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P. 2001: Karta projektnege pospeška tal Slovenije. Potresi v letu 1999:40-49.
- Panou, A.A., Theodulidis, N., Hatzidimitriou, P., Stylianidis, K., Papazachos, C.B. 2005: Ambient noise horizontal-to-vertical spectral ratio for assessing site effects estimation and correlation with seismic damage distribution in urban environment: the case of city of Thessaloniki (Northern Greece). *Soil Dyn Earthq Eng* 25/4:261-274.
- Premru, U. 1982: Osnovna geološka karta 1: 100.000 - list Ljubljana. Geološki zavod Ljubljana.
- Ribarič, V. 1982: Seizmičnost Slovenije, katalog potresov 792 - 1981). Seizmološki zavod SR Slovenije, 649 str., Ljubljana
- Ribarič, V. 1987: Seizmološka karta Slovenije za povratno dobo 500 let. Seizmološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Ribarič, V. 1994: Potresi v Sloveniji. Slovenska matica, Ljubljana.
- SESAME, 2004: Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation. http://sesame-fp5.obs.ujf-grenoble.fr/Deliverables/Del-D23 HV_User_Guidelines.pdf. Accessed 15 Mar 2009.
- SIST EN 1998-1:2005, 2005: Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana. - Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance - Part 1: General rules, seismic actions and rules for buildings, angl. standard, I.

- SIST EN 1998-1:2005/0A101:2005, 2005: Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- Suess, F.E. 1896: Das Erdbeben von Laibach am 14. April 1895. Jahrb K K Geol Reich, 46/3-4:412-890.
- Šket Motnikar B., Zupančič P., Mladenović B., Gosar A. 2010: Meritve potresnega nemira v stavbah Ljubljane, Potresi v letu 2009.
- Vidrih, R., Godec, M., Lapajne, J. 1991: Potresna ogroženost Slovenije. Seizmološki zavod Slovenije, Ljubljana.
- Zupančič, P., Šket-Motnikar, B., Gosar, A., Prosen, T. 2004: Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana. Potresi v letu 2002:32-54.

MERITVE POTRESNEGA NEMIRA V STAVBAH LJUBLJANE

MICROTREMOR MEASUREMENTS IN LJUBLJANA BUILDINGS

Barbara Šket Motnikar, Polona Zupančič, Branka Mladenović, Andrej Gosar

Povzetek

Z meritvami potresnega nemira lahko učinkovito ocenimo lastno frekvenco nihanja stavbe, s primerjavo lastne frekvence stavbe in tal pa ocenimo nevarnost resonance. Stavbe, za katere obstaja nevarnost resonance s tlemi, so v primeru potresa bolj ranljive. Pri obdelavi meritev smo ugotovili, da je edini zanesljivi pokazatelj lastne frekvence stavbe razmerje spektrov vodoravnih komponent med najvišjo in najnižjo etažo. Med izmerjenimi 207 stavbami v Ljubljani smo 184-tim lahko določili vzdolžno in prečno lastno frekveno ter frekvenco tal. Potencialno nevarnost resonance med stavbo in tlemi smo ugotovili pri 30-tih stavbah, med katerimi je 9 šol, 7 stanovanjskih, 12 poslovnih stavb ter dve zdravstveni ustanovi. Za armiranobetonske in zidane stavbe smo izpeljali regresijske relacije, s katerimi smo grobo ocenili lastno frekvenco stavbe na podlagi števila nadzemnih etaž. Ker je za območje znotraj ljubljanske obvoznice narejena tudi karta lastne frekvence tal (Gosar in Rošar, 2010), lahko na podlagi višine stavb ocenimo nevarnost resonance na celotnem raziskanem območju. Med tako ocenjenimi armiranobetonskimi in zidanimi stavbami smo potencialno nevarnost resonance s tlemi ugotovili pri 711-ih stavbah, v katerih živi okrog 8,9 % prebivalcev ocenjenih stavb. Priporočljivo bi bilo, da bi starejše objekte z nevarnostjo resonance, predvsem tiste, ki so bili zgrajeni pred letom 1964, ocenil strokovnjak s področja potresnoodporne gradnje. Opozoriti pa moramo, da je zaradi nelinearnega odziva stavb med močnim potresom in zaradi nezanesljivosti regresijskih enačb nevarnost resonance zaenkrat le groba ocena, namenjena izključno za potrebe statistike za civilno zaščito.

Abstract

Microtremor measurements are an efficient tool for estimating fundamental frequency of sediments and buildings, as well as soil-structure resonance, which may additionally affect buildings during an earthquake. Analysis of measurements shows that a spectral ratio between the highest and lowest floor is the only reliable estimator for building fundamental frequency. For 184 of 207 measured buildings in Ljubljana, longitudinal and transverse fundamental frequencies were determined as well as fundamental frequency of nearby soil. We found that 30 buildings are in danger of soil-structure resonance, including nine schools and two health centres. Regression relationships between fundamental frequency and number of floors were determined for reinforced-concrete (RC) and masonry buildings. Using those relationships and knowing the number of floors, one can roughly estimate fundamental frequency of all buildings. A comparison with the map of fundamental frequency of sediments in Ljubljana (Gosar and Rošar, 2010) enables us to detect a danger of soil-structure resonance, based on buildings height, for the whole surveyed region. With this approach, 711 buildings in danger of resonance have been determined, housing approximately 8.9 % of inhabitants of considered buildings. Earthquake resistance of buildings that are in a danger of resonance and are built before 1964 should be reexamined by an earthquake-engineering expert. It should be noted that because of the nonlinear response of buildings during strong earthquakes and due to poor regression equations, only very rough estimates of resonance danger can be obtained. The results should be used for civil protection statistical purposes only.

Uvod

Z izrazom potresni nemir (mikrotremor) označujemo stalno šibko tresenje tal, ki je lahko naravnega (veter, reke, morski valovi ...) ali umetnega (industrija in promet) izvora. Karta lastne frekvence sedimentov, ki je bila izdelana z metodo potresnega nemira in pokriva območje znotraj ljubljanske obvoznice, je opisana v predhodnem članku (Gosar in Rošar, 2010). V tem prispevku prikazujemo uporabo metode za določitev lastne frekvence stavb in za ocenjevanje nevarnosti resonance med stavbo in tlemi.

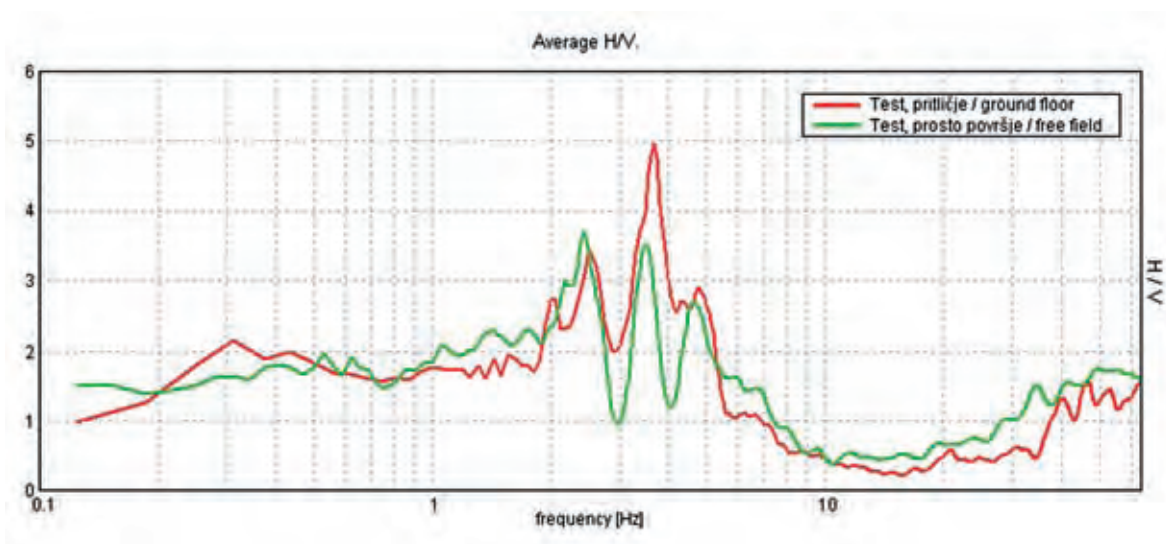
Potresno nihanje tal v neki točki na površju je odvisno od žariščnih lastnosti potresa (magnituda, globina, oddaljenost, tip preloma), od regionalne geološke sestave tal, ki jo potresni valovi prepotujejo in od lokalne geološke sestave tal. Nihanje stavbe ob potresu pa je poleg omenjenega odvisno predvsem od njene konstrukcije. Lastno frekvenco nihanja stavbe lahko učinkovito ocenimo z meritvami potresnega nemira, s primerjavo lastne frekvence stavbe in tal pa ocenimo

nevarnost resonance. Vpliv slabih tal in/ali resonanca med stavbo in tlemi lahko zelo poveča potresno obremenitev stavbe.

Meritve potresnega nemira smo večinoma opravili v okviru dveh raziskav: v letih 2006-2008 v okviru mednarodnega projekta NATO SfP 980857 (<http://nato.gfz.hr/>), v letih 2008-2010 pa v okviru projekta (Lutman in sod., 2010), ki ga je financirala Mestna občina Ljubljana (MOL).

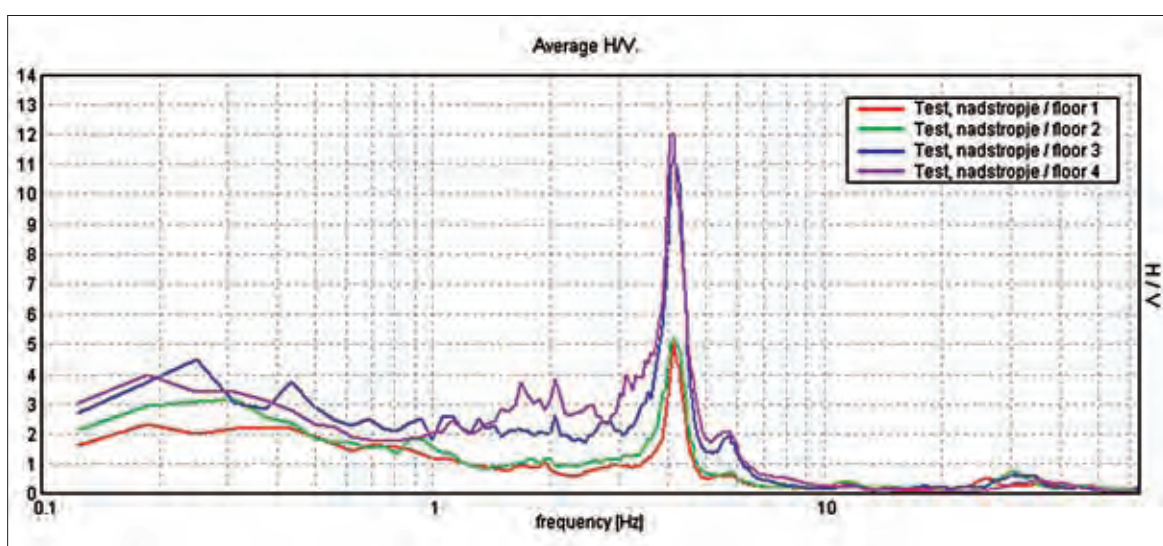
Metoda potresnega nemira za stavbe

Teoretične osnove in razlaga metode meritev potresnega nemira v stavbah niso tako enoznačne kot za meritve na prostem površju. V literaturi so večinoma opisani primeri meritev potresnega nemira v posameznih stavbah (Gallipoli in sod., 2004; Parolai in sod., 2005), splošnih napotkov pa je zelo malo. Tako kot pri meritvah na prostem površju nas zanima amplitudni spekter nihanja tal in spektralno razmerje obeh vodoravnih komponent, deljenih z navpično komponento (HVSR).



Slika 1. Krivulja HVSR v pritličju in na prostem površju ima lahko vrhove pri istih frekvencah.

Figure 1. HVSR curves of ground floor and of free field may have peaks at the same frequencies.



Slika 2. Amplituda HVSR se večja, čim višje je etaža.

Figure 2. HVSR amplitude increases with higher floor.

V kleti in pritličju stavbe so meritve potresnega nemira lahko zelo podobne meritvam na bližnjem prostem površju (slika 1), medtem ko meritve v višjih etažah stavbe večinoma odražajo lastnosti stavbe. HVSR lahko uporabimo za določitev lastne frekvence stavbe, kadar amplituda narašča z višino stavbe in ko je oblika HVSR v višjih etažah enaka ter ima vrhove pri isti frekvenci (slika 2). V primeru, da amplituda ne narašča z višino, je izmerjena lastna frekvenca stavbe verjetno prekrita s frekvenco tal. Da se izognemo vplivu tal, določimo še razmerje med vodoravnim amplitudnim spektrom v najvišji in v najnižji etaži (angl. floor spectral ratio) FSR. Vrh razmerja FSR običajno zelo dobro določa lastno frekvenco stavbe (Cranswick in sod., 1999; Gosar in sod., 2010). Upoštevamo le najvišji vrh, če pa sta dva vrhova blizu in po velikosti podobna, upoštevamo oba. Kot najpomembnejši pokazatelj lastne frekvence stavbe torej uporabljamo vrh FSR, kadar pa je ta neizrazit ali je v večjem razponu frekvenc vrhov več, si pomagamo tudi z obliko krivulje HVSR.

Za večino stavb velja, da je vzdolžna lastna frekvenca stavbe večja od prečne. V nasprotnem primeru domnevamo, da je masno središče različno od geometrijskega središča stavbe, oziroma da ima stavba izrazito heterogeno konstrukcijo. Če merilni instrument ni postavljen v masnem središču stavbe, je lahko končni rezultat prekrit s torzijsko frekvenco stavbe.

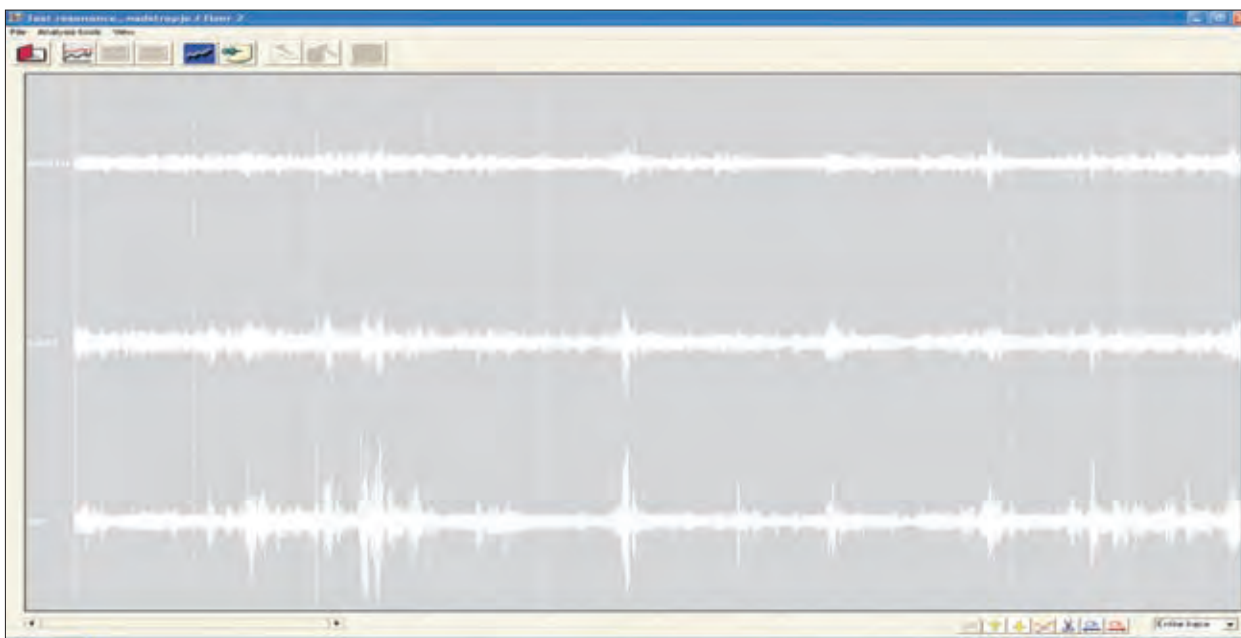
Včasih meritve v stavbi niso izvedljive oz. je določitev lastne frekvence zelo nezanesljiva. Problematične so stavbe na pilotih (območje Ljubljanskega barja), stavbe s samo eno etažo ter nizke stavbe z zelo neizrazitim vrhom FSR, pri katerih je vrh HVSR enak lastni frekvenci tal. Na gosto naseljenem območju so meritve v stavbah lahko zamaskirane z vplivi drugih objektov v bližini. V zapisih meritev se lahko pojavljajo večje motnje (industrija, promet), ki vplivajo na obliko HVSR (pravokotni vrhovi, vrhovi istočasno na vseh treh komponentah). Na rezultate meritev navadno ne vpliva hoja po stopnicah, uporaba dvigala ali množica učencev na hodnikih šol.

Z meritvami na prostem površju v bližini stavbe določimo lastno frekvenco sedimentov. Kadar se lastna frekvenca stavbe in lastna frekvenca tal razlikujeta za največ 10 %, privzamemo, da obstaja nevarnost resonance med stavbo in tlemi.



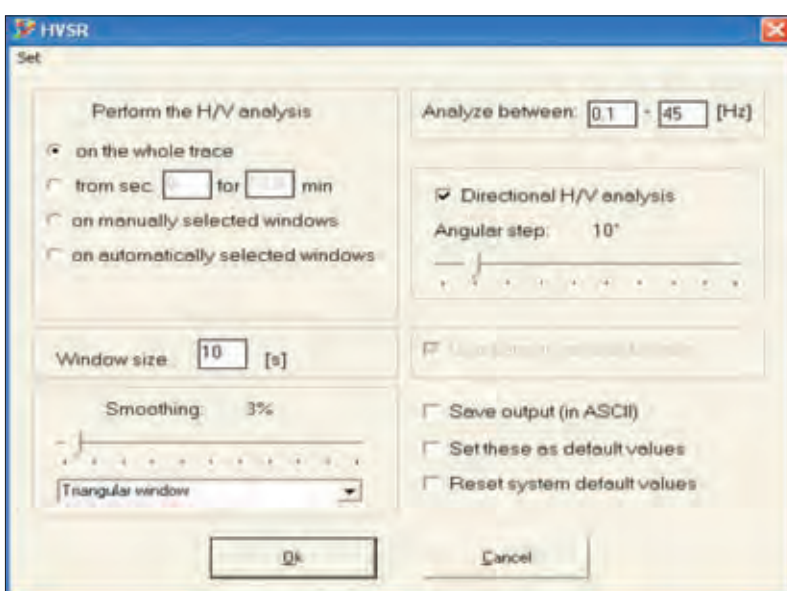
Slika 3. Seizmograf Tromino.

Figure 3. Seismograph Tromino.



Slika 4. Trikomponentni zapis potresnega nemira.

Figure 4. Three components of a microtremor seismogram.



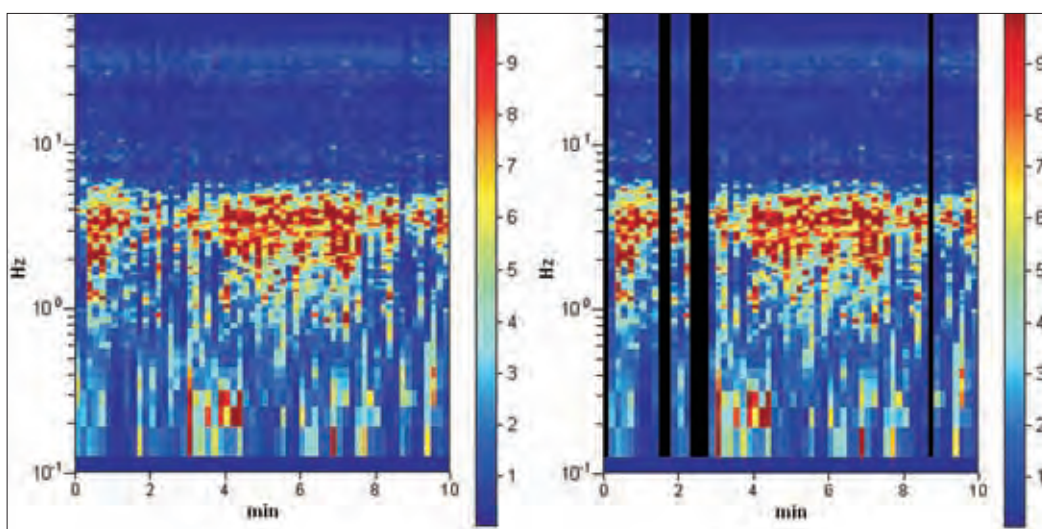
Slika 5. Nastavitev parametrov analize meritev v programu Grilla.

Figure 5. Parameters setting in Grilla software.

Izvedba in analiza meritev v stavbah

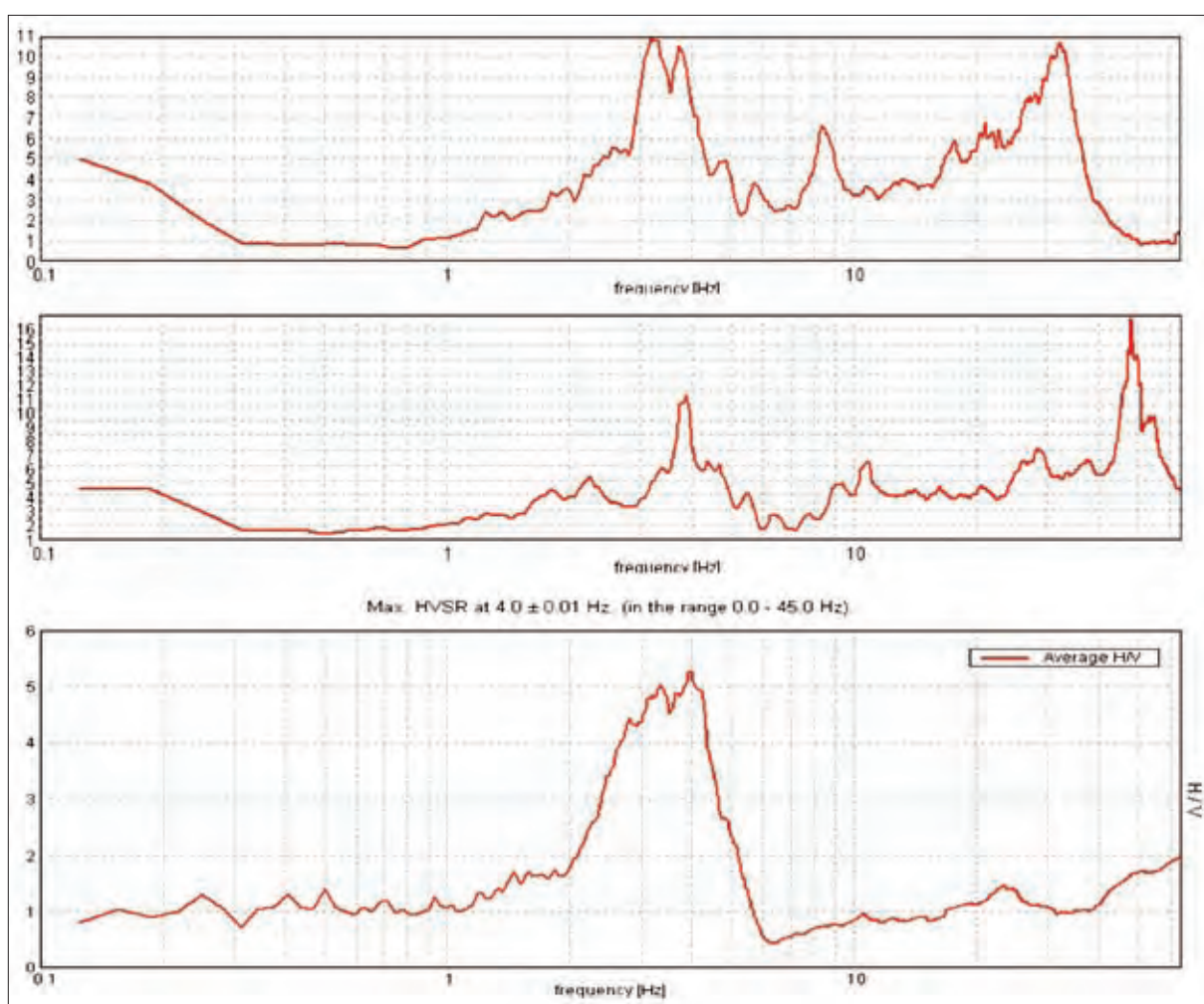
Pri meritvah smo uporabljali šest prenosnih seizmografov Tromino (Micromed, 2005), ki jih sestavljajo trije med seboj pravokotni elektrodinamični hitrostni senzorji, GPS sprejemnik, digitalizator in zajemalna enota s spominsko kartico (slika 3). Vsi deli so integrirani v skupnem ohišju, kar zmanjšuje elektronski in mehanski šum.

Za meritve v stavbah uporabljamo instrument s kratkimi nosilnimi konicami, ki ga postavimo v sredino etaže vzporedno z vzdolžno smerjo stavbe. Na ta način bomo lahko vodoravni komponenti zapisa uporabili za izračun vzdolžne in prečne lastne frekvence stavbe. Merimo vsaj v najnižjih dveh in v najvišjih dveh etažah stavbe, vsakič po 10 minut, s frekvenco vzorčevanja 128 Hz. Za določitev morebitne nevarnosti resonance med stavbo in tlemi izvedemo meritve tudi na prostem površju v bližini stavbe, vendar dovolj daleč, da se izognemo njenemu vplivu (oddaljenost je približno enaka višini stavbe). Meritev na prostem površju traja 20 minut, na mehkih tleh pa uporabljamo dolge konice, ki omogočajo dober stik instrumenta s tlemi.



Slika 6. Barvno kodirana okna HVSR (desno: izločena so okna z večjimi motnjami).

Figure 6. Colour coded HVSR windows (right: high noise outliers are eliminated).



Slika 7. Prečna (zgoraj) in vzdolžna (sredina) komponenta FSR določata lastno frekvenco stavbe, HVSR (spodaj) pa določa lastno frekvenco sedimentov v bližini stavbe. Stavba je v nevarnosti resonance s tlemi.

Figure 7. Transverse (above) and longitudinal (middle) components of FSR determine building's fundamental frequencies, while HVSR (below) determines free field fundamental frequency in the vicinity. A danger of soil-structure resonance can be recognized.

Zapise meritev smo analizirali s programom Grilla (Micromed, 2005) po smernicah, izdelanih v okviru evropskega projekta (SESAME, 2004). Seizmogram najprej vizualno pregledamo, da ugotovimo morebitne napake v meritvah (slika 4), nato ga razdelimo na 10-sekundna okna, za katera izračunamo amplitudne spektre. Nastavimo frekvenčno območje 0,1 - 45 Hz in trikotno okno s 3 % glajenjem (slika 5). Sledi izračun spektralnega razmerja HVSR za vsako okno posebej in za vsako izmerjeno etažo stavbe. S pomočjo barvnega prikaza HVSR vseh oken (slika 6) izločimo okna z močnejšimi prehodnimi motnjami, torej tista, pri katerih je porazdelitev frekvenc bistveno drugačna kot pri sicer časovno enakomernem spektru. Največkrat so to motnje v nizkofrekvenčnem delu spektra. Za vsa preostala okna nato izračunamo povprečen HVSR posamezne etaže s pripadajočim 95 % intervalom zaupanja.

Kot pa smo že omenili, nam je krivulja HVSR le v pomoč. Prečna oz. vzdolžna lastna frekvenca nihanja stavbe je določena s frekvenco, pri kateri doseže razmerje amplitudnih spektrov posamezne vodoravne komponente med najvišjo in najnižjo etažo (FSR) največjo vrednost (slika 7). Za izračun razmerja FSR je pomembno, da sta oba primerjana zapisa enake dolžine in zabeležena v podobnih razmerah, ni pa nujno, da sta posneta istočasno. Na sliki 7 spodaj je prikazano razmerje HVSR bližnjega prostega površja, ki s frekvenco vrha pri skoraj enaki frekvenci kot je (vzdolžni) FSR stavbe kaže na nevarnost resonance med stavbo in tlemi.

Podatkovna baza izmerjenih stavb

V raziskavo smo vključili 207 stavb v Ljubljani (slika 8), ki smo jim z metodo potresnega nemira izmerili lastno frekvenco in lastno frekvenco tal. Predvsem smo se posvetili javnim objektom (osnovne šole, gasilski domovi, zdravstveni domovi, bolnišnice, vrtci, stavbe javne uprave, študentski domovi), vključili pa smo tudi izbrane stanovanjske in poslovne objekte. Vse pomembne podatke o stavbi (naslov, starost, višina, tip konstrukcije, floris, dejanska raba) smo vpisali v vpisni list in vnesli v bazo podatkov. Število etaž pomeni število vseh nadzemnih etaž, kamor se šteje tudi mansarda objekta, če je ta višja od stojne višine. Koordinate objekta smo pridobili iz registra EHIŠ (GURS) preko njihovega naslova. Vsaki stavbi je pripisan tudi tip tal po standardu Evrokod 8 - EC8 (SIST EN 1998-1:2005). Osnovni podatki o izmerjenih stavbah so prikazani v preglednicah 1-3. Med izmerjenimi stavbami je 92 armiranobetonskih, ki smo jih označili z AB (angl. RC). Ste-naste armiranobetonske stavbe imajo podrobnejšo oznako ABS, okvirne pa ABO.

Preglednica 1. Izmerjene stavbe: tip konstrukcije in tip tal po EC8.

Table 1. Type of structure and EC8 soil type for measured buildings.

	tip tal / EC8 soil type					skupaj total
	A	C	D	E	S1	
ni podatka no data		3		6	3	12
AB RC		25		7	12	44
ABO frame RC		14			2	16
ABS wall RC		28		2	2	32
jeklo steel		1				1
kamen stone		14				14
kombinacija combination		13	1	2	2	18
opeka brick	1	55		4	10	70
skupaj total	1	153	1	21	31	207

Preglednica 2. Izmerjene stavbe: tip konstrukcije in namen stavbe.

Table 2. Type of structure and usage of measured buildings.

	namen stavbe / usage of building						skupaj total
	stanovanjska residential	poslovna business	šola school	zdravstveni dom health centre	gasilski dom fire station	drugo other	
ni podatka no data	7					5	12
AB RC	35	3	6				44
ABO frame RC			13	3			16
ABS wall RC	17	1	11	1		2	32
jeklo steel			1				1
kamen stone	3	11					14
kombinacija combination	3	4	4	3	2	2	18
opeka brick	27	19	12	6	1	5	70
skupaj total	92	38	47	13	3	14	207

Preglednica 3. Razpon in povprečne vrednosti parametrov izmerjenih stavb.

Table 3. Range and mean values of measured building parameters.

	št. stavb # of buildings	minimum minimum	maksimum maximum	povprečje mean	st. odklon st. deviation
št. nadzemnih etaž # of floors	207	1	20	4	3
leto izgradnje year of construction	187	1600	2003	1938	73
vzdolžna lastna frekvenca longit. fund. frequency	186	1.2	15.0	5.4	2.4
prečna lastna frekvenca transv. fund. frequency	185	1.2	16.0	5.5	2.8
lastna frekvenca tal free field fund. frequency	197	.9	14.0	3.5	1.8

Stavbe v resonance s tlemi

Kadar se ena od obeh frekvenc stavbe (vzdolžna ali prečna) razlikuje od lastne frekvenca tal za 10 % ali manj, privzamemo, da je stavba v resonanci s tlemi. Kljub temu, da smo z metodo potreznega nemira izmerili vseh 207 stavb, pa 23-im ni bilo možno določiti lastne frekvence stavbe ali tal. Med preostalimi 184 stavbami (slika 8) jih je 30 (16,3 %) v resonanci s tlemi, pri 9 stavbah pa se njihova lastna frekvenca le malo več kot za 10 % razlikuje od lastne frekvenca tal (oznaka »na meji«). Njihov delež glede na tip konstrukcije je prikazan v preglednici 4.

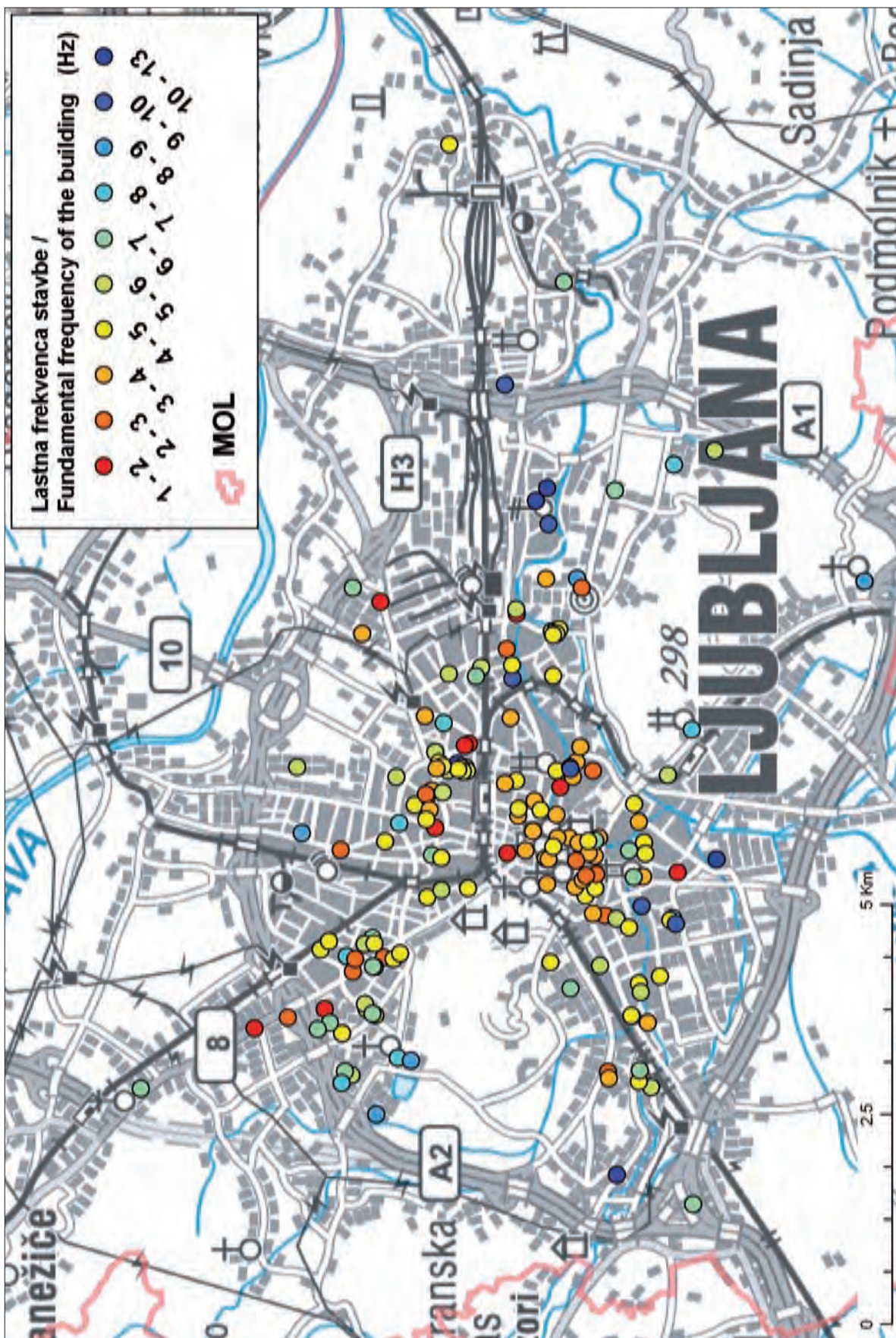
Med 30 stavbami v resonanci (slika 9) je približno ena tretjina armiranobetonskih in več kot polovica opečnih, skoraj vse pa ležijo na tleh tipa C po EC8 (globoki sedimenti gostega ali srednje gostega peska, proda ali toge gline z debelino od nekaj deset do več sto metrov in povprečno hitrostjo strižnega valovanja v zgornjih 30-ih metrih od 180 do 360 m/s) glede na predhodno potresno mikrorajonizacijo Ljubljane (Zupančič in sod., 2004). Nevarnost resonance ima 9 šol, 7 stanovanjskih, 12 poslovnih stavb ter dve zdravstveni ustanovi. Delež stavb v resonanci glede na namembnost, etažnost in tip konstrukcije je prikazan v preglednici 5. Zanimivo je, da so na območju Šiške v resonanci predvsem armiranobetonski objekti, ki imajo 10 ali več nadzemnih etaž, v centru mesta pa predvsem zidani objekti, ki imajo do 5 nadzemnih etaž in so zgrajeni pred letom 1900.

Preglednica 4. Nevarnost resonance med izmerjenimi stavbami in tlemi glede na tip stavbne konstrukcije, **Table 4.** Danger of soil-structure resonance due to construction type,

	tip tal / EC8 soil type			skupaj total
	da yes	ne no	na meji possible	
ni podatka no data		11 91,7%	1 8,3%	12 100,0%
AB RC	5 14,3%	25 71,4%	5 14,3%	35 100,0%
ABO frame RC	4 26,7%	10 66,7%	1 6,7%	15 100,0%
ABS wall RC	1 3,6%	27 96,4%		28 100,0%
kamen stone	2 18,2%	8 72,7%	1 9,1%	11 100,0%
kombinacija combination	2 12,5%	14 87,5%		16 100,0%
opeka brick	16 23,9%	50 74,6%	1 1,5%	67 100,0%
skupaj total	30 16,3%	145 78,8%	9 4,9%	184 100,0%

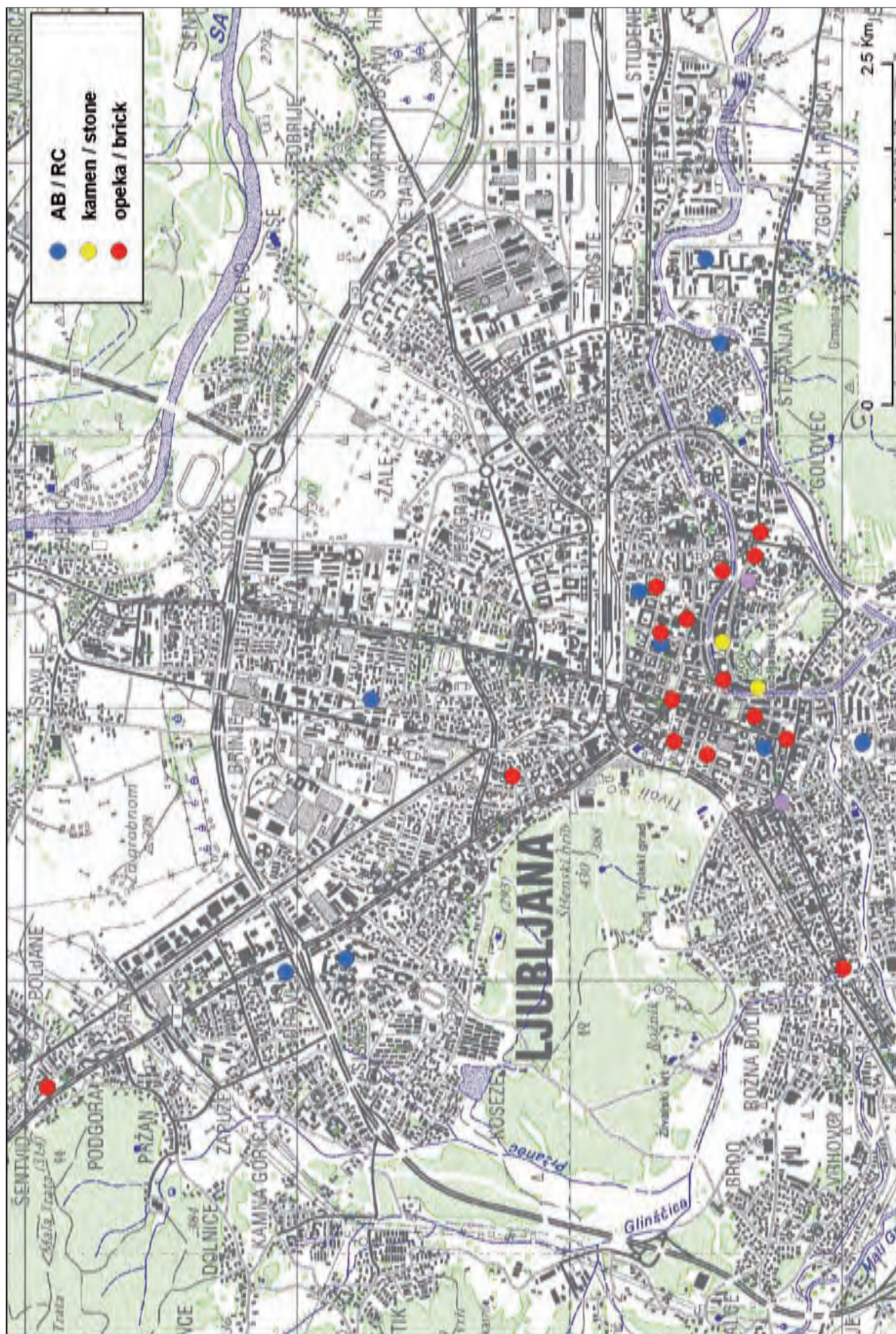
Preglednica 5. Izmerjene stavbe z nevarnostjo resonance glede na namembnost, etažnost in tip konstrukcije. **Table 5.** Usage, height and structure type of measured buildings in danger of soil-structure resonance.

	št. etaž # floors	tip konstrukcije / structure type					skupaj total	
		AB RC	ABO frame RC	ABS wall RC	kamen stone	kombinacija combination		opeka brick
stanovanjska residential	4						1	1
	5	1						1
	6			1				1
	9	1						1
	11	1						1
	12	1						1
poslovna business	3				1		3	4
	4				1		4	5
	5					1	1	2
	6					1		1
šola school	3		2				5	7
	4						1	1
	5		1					1
zdrav. dom health centre	3		1				1	2



Slika 8. Stavbe, izmerjene z metodo potresnega nemina, in njihova lastna frekvenca.

Figure 8. Fundamental frequency of buildings, as determined with microtremor measurements



Slika 9. Stavbe, izmerjene z metodo potresnega nemira, katerih lastna frekvenca se ujema z lastno frekvenco tal.

Figure 9. Measured buildings in danger of soil-structure resonance

Rezultati statistične analize

Statistično analizo zbranih podatkov smo izvedli s programom SPSS (SPSS, 1999). Najpomembnejši rezultati so:

- Izmerjene lastne frekvence stavb v Ljubljani so od 1,2 Hz do 16 Hz. Na sliki 8 je prikazana tista od obeh lastnih frekvenc stavbe, ki je bližje lastni frekvenci tal.
- Pri nizkih stavbah se vrh HVSR lahko bistveno razlikuje od lastne frekvence stavbe, določene z razmerjem FSR.
- Za posamezne vrste konstrukcije je bila pri stopnji značilnosti 5 % ugotovljena statistično značilna korelacija med številom nadzemnih etaž stavbe in lastno frekvenco stavbe. Koeficient korelacije je -0,7 za AB stavbe, -0,8 za AB stavbe z več kot 4 nadzemnimi etažami ter -0,5 za opečne stavbe (za vzdolžno lastno frekvenco stavbe).
- Šole in zdravstveni domovi imajo nižjo lastno frekvenco kot stanovanjske stavbe iste višine. Vzrok je verjetno v različno oblikovanem tlorisu obeh skupin stavb.
- Nevarnost resonance smo ugotovili za 30 stavb, pri še 9 stavbah pa se njihova lastna frekvenca le malo več kot za 10 % razlikuje od lastne frekvence tal. Nevarnost resonance ima 9 šol, 7 stanovanjskih, 12 poslovnih stavb ter dve zdravstveni ustanovi.
- Stavbe, za katere obstaja nevarnost resonance, so v primeru potresa bolj ranljive. To še posebej velja za objekte, zgrajene pred letom 1964, ko je bila sprejeta sodobnejša zakonodaja s področja potresnoodporne gradnje.

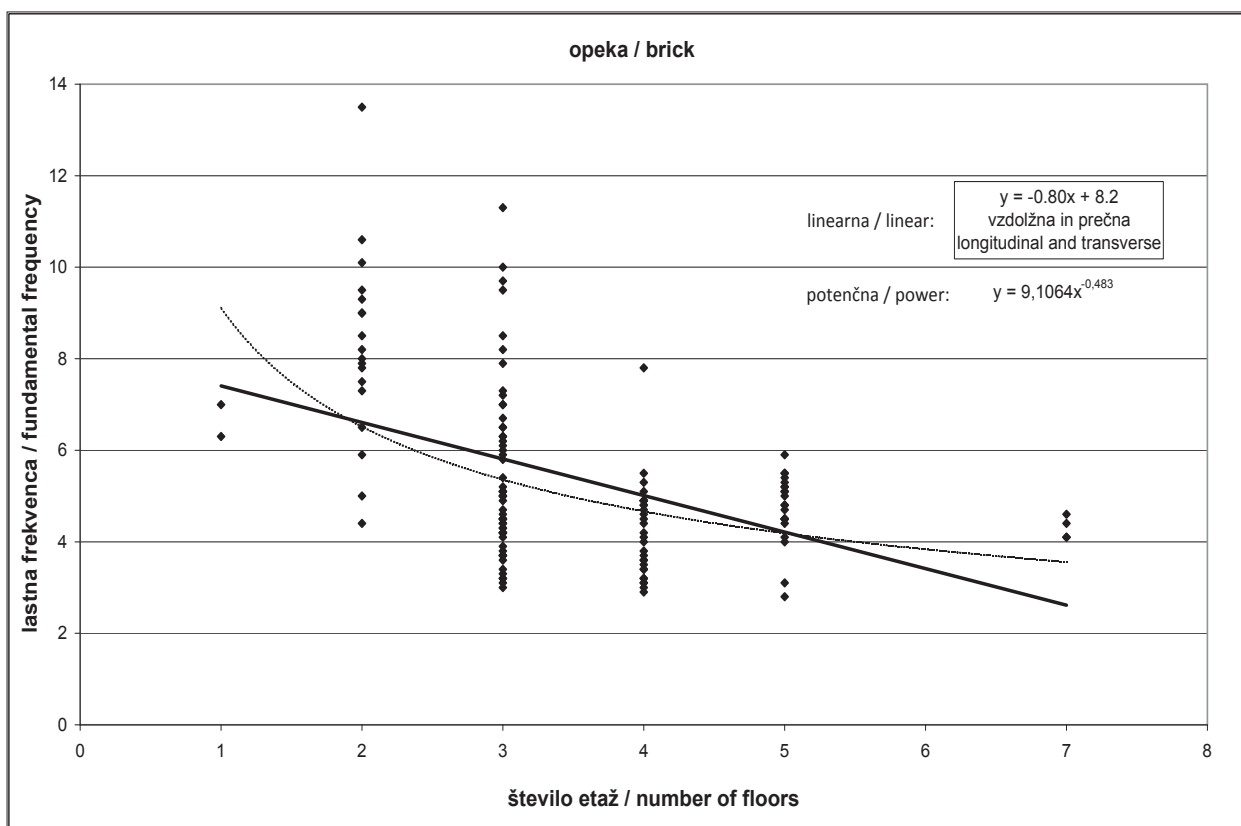
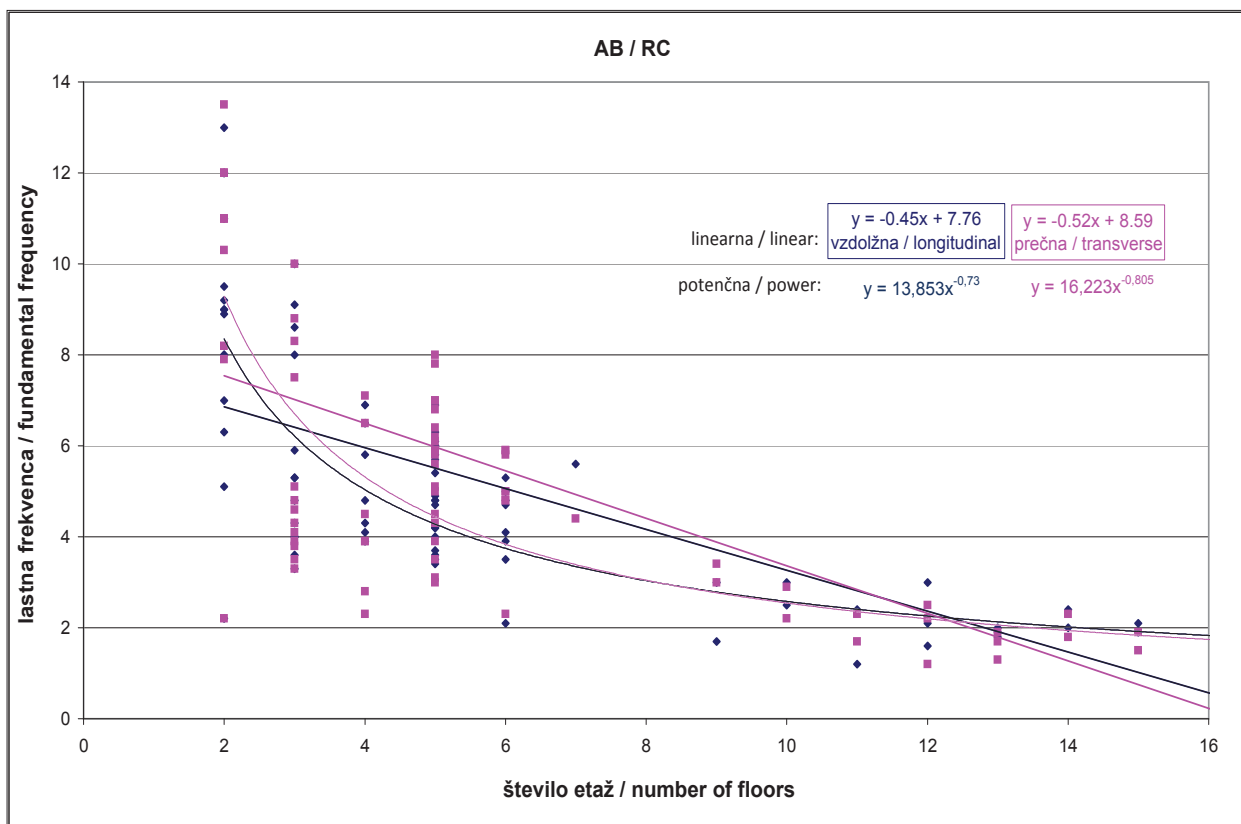
Lastno frekvenco stavb smo ugotavljali za izmerjenih 207 stavb. Da bi nevarnost resonance lahko ocenili tudi za druge stavbe MOL, smo izračunali linearne regresijske enačbe, ki povezujejo lastno frekvenco, število nadzemnih etaž in tip konstrukcije stavbe. Te enačbe so najpreprostejši približek meritvam, zato jih lahko uporabljamo le za zelo grobo oceno lastne frekvence in le za potrebe civilne zaščite. Izkazalo se je, da enačbe niso primerne za zelo visoke stavbe (nad 15 etaž pri armiranobetonskih, nad 9 pri zidanih) in da je raztros pri nizkih stavbah zelo velik. Zato smo za AB stavbe z vsaj petimi nadzemnimi etažami določili posebno regresijsko enačbo, s še večjim številom meritev pa bomo omogočili izračun regresijske enačbe posebej za stenaste (ABS) in posebej za okvirne (ABO) konstrukcije. Enačbe za zidane stavbe pa so zaradi večinoma majhne višine in sorazmerno majhga števila meritev nezanesljive.

Nekatere objavljene regresijske enačbe (npr. Gallipoli in sod., 2010) namesto lastne frekvence uporabljajo linearno zvezo z lastnim nihajnim časom (obratna vrednost lastne frekvence). Zaradi enostavne primerjave s karto lastne frekvence sedimentov na območju MOL smo zaenkrat uporabili enačbe za lastno frekvenco. Poskusno smo že izračunali tudi enačbe za potenčno namesto linearno odvisnost, kar je vsebinsko enakovredno linearni povezavi z nihajnim časom (oziroma je prileganje še boljše, ker je eksponent potenčne funkcije poljuben in ne enak -1). Pri tem se je korelacijski koeficient povečal za okrog 10 %, kar bo v prihodnje omogočilo natančnejšo oceno lastne frekvence. Prileganje regresijski enačbi je za AB in za opečne stavbe prikazano na sliki 10. S povečanjem števila meritev in z uporabo zanesljivejših regresijskih enačb postopek obeta učinkovito določitev nevarnosti resonance stavb na vsem območju MOL znotraj obvoznice.

Preglednica 6. Konstrukcija ocenjenih stavb glede na nevarnost resonance med stavbo in tlemi.

Table 6. Structure type of buildings regarding to danger of soil-structure resonance.

resonanca soil-structure resonance	tip konstrukcije /structure type			skupaj total
	kamen / stone	opeka / brick	AB / RC	
da yes	22 6,2%	474 3,1%	215 4,7%	711 3,5%
ne no	334 93,8%	14867 96,9%	4354 95,3%	19555 96,5.5%
skupaj total	356 100.0%	15341 100.0%	4569 100.0%	20266 100.0%



Slika 10. Regresijske enačbe med lastno frekvenco in številom nadzemnih etaž za armiranobetonske (zgoraj) in za opečne stavbe (spodaj).

Figure 10. Regression relationships between fundamental frequency and number of floors for reinforced concrete (above) and brick buildings (below).

Posplošitev ocene nevarnosti resonance na stavbe MOL, ki so v Registru nepremičnin

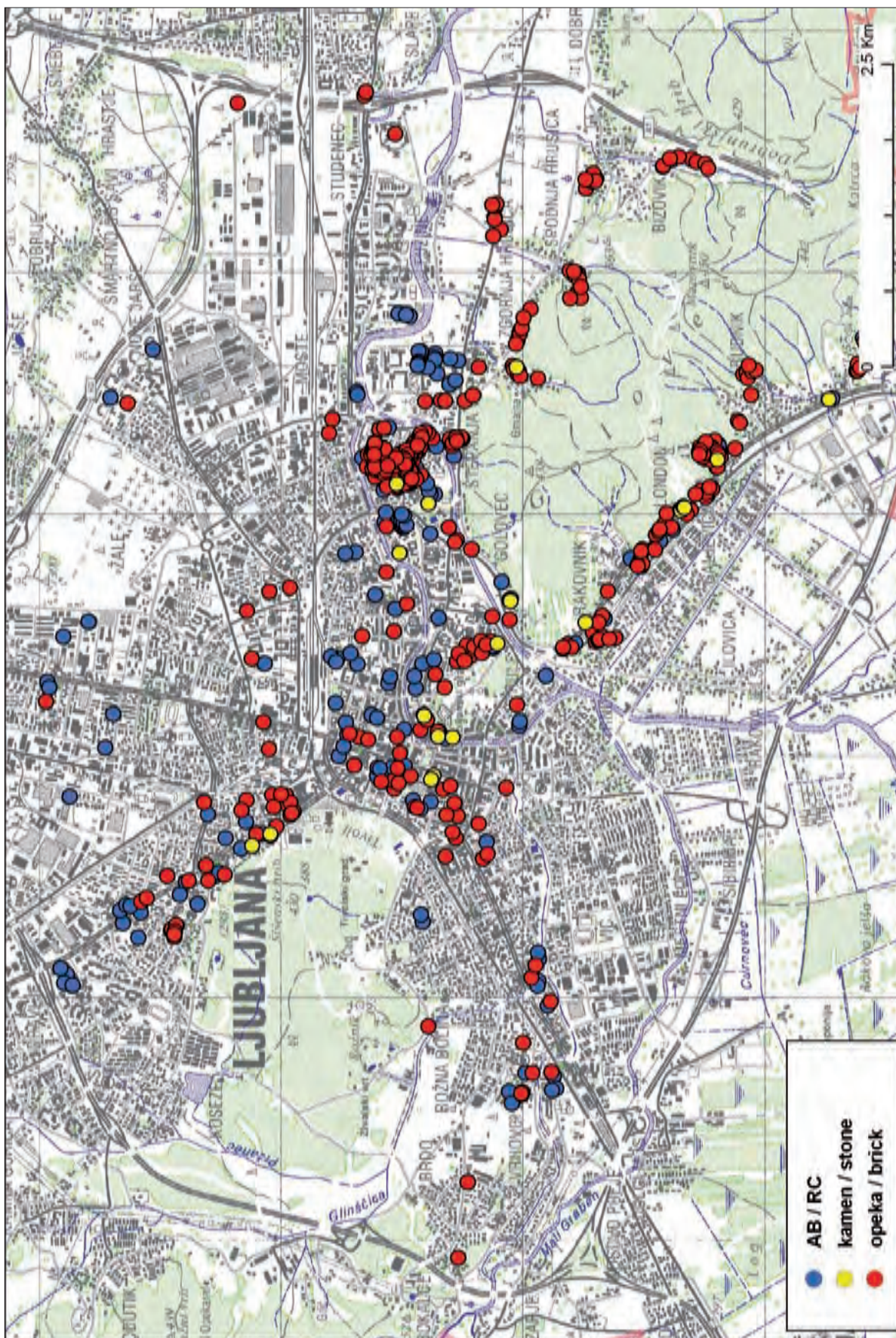
Regresijske enačbe za določitev lastne frekvence smo uporabili za stavbe znotraj ljubljanske obvoznice, ki so v Registru nepremičnin REN (skrbnik GURS). Ocenili smo lahko le tiste zidane in armiranobetonske stavbe, ki imajo v RENU podano število nadzemnih etaž. Takih stavb je 20266, kar je le 28 % vseh stavb MOL. Ocenjeno lastno frekvenco stavbe smo primerjali s karto lastne frekvence tal (Gosar in Rošar, 2010). Stavba je v resonanci s tlemi, kadar se njena lastna frekvenca za manj kot 10 % razlikuje od lastne frekvence tal. Po tem kriteriju ima nevarnost resonance 711 stavb, od tega 22 kamnitih, 474 opečnih in 215 armiranobetonskih (preglednica 6, slika 11).

Za 711 stavb, ki so v nevarnosti resonance s tlemi, smo izdelali križno preglednico glede na tip konstrukcije, število nadzemnih etaž in glede na tip tal po EC8 (preglednica 7). Med stavbami v resonanci je 72 % stanovanjskih, v njih živi 9756 prebivalcev, od tega je 8997 stalno in 759 začasno prijavljenih. Izračunali smo tudi delež prebivalcev, ki živijo v stavbah z nevarnostjo resonance: med prebivalci tistih zidanih in armiranobetonskih stavb, ki smo jim lahko izračunali lastno frekvenco, je takih 8,9 % (preglednica 8).

Preglednica 7. Ocenjene stavbe v resonanci glede na tip konstrukcije, etažnost in tip tal.

Table 7. Structure type, height and soil-type for the buildings in danger of soil-structure resonance.

	št. etaž # of floors	tip tal / EC8 soil type					skupaj total
		A	C	D	E	S1	
kamen stone	1		4				4
	2	3	2		3		8
	3		3				3
	4		3				3
	5		4				4
opeka brick	1	17	60	2	9		88
	2	23	150	8	7		188
	3	5	48	1	8	3	65
	4		19		1		20
	5	1	30		3	13	47
	6		43			6	49
	7		16			1	17
AB RC	1	5	15		4		24
	2	6	16	1	4		27
	3		6				6
	4		1				1
	5		38			10	48
	6		15			3	18
	7		18		3		21
	8		21		1	1	23
	9		8				8
	10		12			1	13
	11		12		1		13
	12		10		1		11
	13		2				2



Slika 11. Stavbe znotraj mestne obvoznice, katerih izračunana lastna frekvenca se ujema z lastno frekvenco tal.

Figure 11. Ljubljana buildings in danger of soil-structure resonance, determined with regression relationships

Preglednica 8. Število in delež prebivalcev ocenjenih stavb Ljubljane glede na nevarnost resonance.

Table 8. Number and percentage of Ljubljana inhabitants living in buildings that are in danger of soil-structure resonance.

resonanca resonance	prebivalci / inhabitants		
	vsi / all	stalni permanent	začasni temporary
da yes	9756 8,9%	8997 9,5%	759 5,0%
ne no	100018 91,1%	85580 90,5%	14438 95,0%
skupaj total	109774 100,0%	94577 100,0%	15197 100,0%

Zaključki

Raziskave z metodo potresnega nemira so hitre, poceni in zelo učinkovite. Uporabne so za določanje lastne frekvence tal in lastne frekvence stavb ter posledično za ugotavljanje nevarnosti resonance med stavbo in tlemi. Edini zanesljivi pokazatelj lastne frekvence stavbe je razmerje spektrov obeh vodoravnih komponent med najvišjo in najnižjo etažo. Med izmerjenimi 207 stavbami smo pri 30-ih ugotovili nevarnost resonance med stavbo in tlemi, pri dodatnih 9-ih stavbah pa je resonanca tudi možna (mejne vrednosti). Nevarnost resonance ima 9 šol, 7 stanovanjskih, 12 poslovnih stavb ter dve zdravstveni ustanovi. Te stavbe so v primeru potresa bolj ranljive. To še posebej velja za starejše objekte, zgrajene pred letom 1964, ko je bila sprejeta sodobnejša zakonodaja s področja potresnoodporne gradnje. Take stavbe bi morali oceniti strokovnjaki s področja gradbeništva in potresnoodporne gradnje. S statistično analizo pridobljenih podatkov o stavbah smo dokazali korelacijo med lastno frekvenco stavbe in njeno višino. Za armiranobetonske in opečne stavbe smo izpeljali regresijske relacije, s katerimi smo ocenili nevarnost resonance za stavbe MOL v RENU. Med ocenjenimi armiranobetonskimi in zidanimi stavbami je v resonanci s tlemi 711 stavb, v katerih živi okrog 8,9 % prebivalcev ocenjenih stavb. Analizo smo opravili s statističnim programskim paketom SPSS in s prostorskimi grafičnimi orodji ArcGIS. Število stalno in začasno prijavljenih prebivalcev smo določali na podlagi Centralnega registra prebivalstva (skrbnik MNZ). S povečanjem števila meritev bodo regresijske enačbe vse bolj zanesljive, s tem pa se bo povečala tudi zanesljivost določanja nevarnosti resonance.

Literatura

- Cranswick E., Özel O., Meremonte M., Erdik M., Safak E., Mueller C., Overturf D., Frankel A., 1999. Earthquake damage, site response, and building response in Avcilar, west of Istanbul, Turkey. Proc of ITU-IAHS int conf on the Kocaeli earthquake, Istanbul, pp 193–204.
- Gallipoli M.R., Mucciarelli M., Castro R.R., Monachesi G., Contri P., 2004. Structure, soil-structure response and effects of damage based on observations of horizontal-to-vertical spectral ratios of microtremors. Soil Dyn Earthq Eng 24:487–495.
- Gallipoli M.R., M. Mucciarelli, B. Šket-Motnikar, P. Zupančič, A. Gosar, S. Prevolnik, M. Herak, J. Stipčević, D. Herak, Z. Milutinović, T. Olumčeva, 2010. Empirical estimates of dynamic parameters on a large set of European buildings, Bulletin of Earthquake Engineering.
- Gosar A., Rošar J., 2010. Raziskave krajevnega vpliva mehkih sedimentov na potresno nihanje tal na območju Ljubljane z metodo mikrotremorjev, Potresi v letu 2009, ARSO, Ljubljana.
- Gosar A., Rošar J., Šket Motnikar B., Zupančič P., 2010. Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (Central Slovenia), Bulletin of Earthquake Engineering, 8:571-592.
- Lutman M., Zupančič P., Šket Motnikar B., Plos M., Gosar A., Rošar J., Mladenović B., 2010. Zgodovina gradnje v Ljubljani – Pregled gradbenih lastnosti ter potresne odpornosti in ranljivosti objektov, Raziskovalni projekt MOL, Zaključno poročilo, Ljubljana.
- Micromed s.r.l., 2005. Tromino, portable ultra-light seismic noise acquisition system. User's Manual. Treviso – Italy.

- Parolai S, Fäcke A, Richwalski S M, Stempniewski L., 2005. Assessing the vibrational frequencies of the Holweide hospital in the city of Cologne (Germany) by means of ambient seismic noise analysis and FE modelling. *Nat Hazards* 34:217-230.
- SESAME, 2004. Guidelines for the implementation of the H/V spectral ratio technique on ambient vibrations: measurements, processing and interpretation.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- SPSS Inc., 1999. SPSS (Statistical package for social sciences) Base 9.0 User's Guide, printed in USA.
- Zupančič, P., Šket-Motnikar, B., Gosar, A., Prosen, T. 2004: Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana. *Potresi v letu 2002*:32-54.
- <http://nato.gfz.hr/> Project SFP 980857: Assessment of Seismic Site Amplification and Seismic Building Vulnerability in the FYR Macedonia, Croatia and Slovenia.

OCENA POTRESNE ODPORNOSTI IN OGROŽENOSTI STAVB V MESTNI OBČINI LJUBLJANA (MOL)

SEISMIC RESISTANCE AND RISK OF BUILDINGS IN THE MUNICIPALITY OF LJUBLJANA (MOL)

Polona Zupančič, Barbara Šket Motnikar, Marjana Lutman*

Povzetek

Osnova za raziskovalno delo sta bili dve zbirki podatkov o stavbah v Ljubljani. Prva je bila zasnovana na Zavodu za gradbeništvo Slovenije (ZAG) in poleg splošnih podatkov (leto izgradnje, etažnost) vsebuje podatek o vrsti konstrukcije ter potresno odpornost in ranljivost, ocenjeni na osnovi pregledov stavb in dostopne tehnične dokumentacije. Drugo bazo vzdržujemo na ARSO, kjer z metodo potresnega nemira merimo lastno frekvenco stavb in ugotavljamo morebitno resonanco s tlemi. Na podlagi obeh baz smo postavili zakonitosti za poplošene ocene potresne odpornosti in ranljivosti zidanih stavb z največ štirimi nadstropji ter ocene lastne frekvence armirano-betonskih in zidanih stavb. Te zakonitosti smo uporabili za vse stavbe v MOL, pri čemer smo potrebne podatke o starosti, tipu konstrukcije in številu nadzemnih etaž privzeli iz Registra nepremičnin Slovenije (REN). Za območje MOL smo vzpostavili razširjeno bazo nepremičnin, ki vključuje parametre iz RENA, Centralni register prebivalstva, tip tal po Evrokodu 8, projektni pospešek tal za povratno dobo 475 let z upoštevanje potresno mikrorajonizacijo, oceno potresne odpornosti in ranljivosti za zidane stavbe z največ štirimi nadstropji, izračunano potresno obtežbo po Pravilniku iz leta 1981 in po Evrokodu 8, lastno frekvenco tal na podlagi meritev potresnega nemira ter oceno lastne frekvence armiranobetonskih in zidanih stavb. Na tej razširjeni bazi kot tudi na obeh bazah posebej obravnavanih stavb smo izvedli statistične analize in prostorske grafične predstavitve. Preučili smo razmerje med potresno odpornostjo in predpisano potresno obtežbo stavb po novi in stari zakonodaji, določili deleže stavb in prebivalstva posamezne kategorije potresne ranljivosti ter obravnavali nevarnost resonance med stavbami in temeljnimi tlemi. Ugotovili smo, da je le okrog 10 % zidanih stavb MOL z največ štirimi nadstropji dovolj odpornih glede na zahteve Evrokod 8, okrog 70 % takih stavb pa zadošča zahtevam Pravilnika iz leta 1981.

Abstract

The results of the project "The history of construction in Ljubljana - an overview of building's characteristics and seismic resistance and vulnerability of buildings" done in co-operation by Slovenian National Building and Civil Engineering Institute (ZAG) and Environmental Agency of the Republic of Slovenia (ARSO) are presented. Seismic resistance and seismic vulnerability of complete building-stock in Municipality of Ljubljana (MOL) were studied. Several types of data were used: the building registry, building databases of ZAG and ARSO, design ground acceleration map of Slovenia, the microzonation studies and population registry. The databases of ZAG and ARSO were extended with additional estimates of seismic resistance and seismic vulnerability, as well as with new measurements of fundamental frequency of buildings in MOL. A statistical analysis and spatial analysis were performed using the SPSS program and ArcGIS. Based on ZAG database, relationships for seismic resistance and vulnerability of masonry buildings depending on the year of construction, the number of storeys and the type of masonry have been determined, which enables generalized estimation of the seismic resistance and seismic vulnerability of all masonry buildings in MOL with up to five storeys high. The ARSO database focuses on the microtremor measurements of the buildings and free-field in order to determine areas of soil-structure resonance. Also, a linear regression between fundamental frequency and height of the reinforced-concrete and masonry buildings has been estimated and applied to all such buildings in MOL. Goals of the project were successfully carried out: the comparison between seismic resistance of buildings and their seismic load according to the former National seismic code from 1981 and to the new Eurocode 8 standard; the estimation of buildings and population percentages according to vulnerability classes and identification of buildings with potential soil-structure resonance. Only 10 % of masonry buildings in MOL of up to five storeys high meet the required resistance according to Eurocode 8, and around 70 % of them are in accordance with the code from 1981.

Uvod

Predstavljeni so rezultati raziskovalnega projekta Zgodovina gradnje v Ljubljani - pregled gradbenih lastnosti ter potresne odpornosti in ranljivosti objektov (Lutman in sod., 2010), ki ga je financirala Mestna občina Ljubljana, sodelovali pa smo strokovnjaki Zavoda za gradbeništvo Slovenije (ZAG) in Agencije RS za okolje (ARSO).

* Zavod za gradbeništvo Slovenije, Dimičeva 12, Ljubljana

Pri ocenjevanju potresne ogroženosti moramo upoštevati potresno nevarnost, potresno odpornost stavb in število prebivalcev, ki v njih živijo. Na območju MOL lahko pričakujemo razmeroma močne potrese, naseljenost je velika, največje poškodbe pa bodo utrpele stavbe, grajene pred uveljavitvijo potresnih predpisov. Zasnova stavb in njihovih nosilnih konstrukcij je odraz časa, v katerih so bili projektirani. V Sloveniji so se prvi pravi predpisi o potresno odporni gradnji pričeli uporabljati leta 1963 (UL SRS, št. 18/63), danes pa potresno odpornost gradbenih objektov ureja standard Evrokod 8 oziroma EC8 (SIST EN 1998-1:2005). Uporablja se skupaj z nacionalnim dodatkom (SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005). V obvezno uporabo ga je vpeljal Pravilnik o mehaniki odpornosti in stabilnosti objektov (UL RS, št. 101/2005), ki je s 1. 1. 2008 tudi razveljavil stari Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih (UL SFRJ 31/1981, 49/1982, 29/1983, 21/1988 in 52/1990), v nadaljevanju Pravilnik iz leta 1981.

Stavbe starega mestnega jedra, zgrajene pred koncem 18. stoletja, so pretežno iz kamnitih zidov, z obokanimi in lesenimi stropnimi konstrukcijami. Njihova konstrukcijska zasnova je precej razgibana in nepravilna. Do druge svetovne vojne so bile stavbe večinoma grajene iz opečnih zidov, ki imajo pogosto v eni tlorisni smeri izrazito manjšo količino nosilnih zidov kot v drugi smeri. Enosmerno nosilne lesene ali masivne stropne konstrukcije obremenjujejo le zidove v eni smeri, zato je potresna odpornost zidov v drugi smeri zaradi manjše obremenjenosti z navpično obtežbo še manjša. Leseni stropovi zaradi svoje manjše teže sicer povzročajo manjše potresne sile, vendar pa niso zadosti togi in ne zagotavljajo ustrezne povezave z nosilnimi zidovi. Mnoge zidane stavbe, zgrajene po drugi svetovni vojni, so kljub visoki etažnosti brez zidnih vezi. Poleg tega so bile stavbe večkrat adaptirane s posegi, ki so slabili nosilno konstrukcijo, ali pa nadgrajene za več kot eno nadstropje, kolikor za navadne zidane stavbe dopušča Pravilnik iz leta 1981. Adaptacije in nadgradnje so bile izvedene predvsem pri starejših, deloma pa tudi pri novejših stavbah, zgrajenih po 2. svetovni vojni.

Tudi prve armiranobetonske stavbe, zgrajene v Ljubljani, imajo pogosto neustrezno zasnovo. Mnoge so bile projektirane le za prevzem navpične obtežbe. Pri uvajanju prvih potresnih predpisov so bile upoštevane prenizke potresne sile in še te le za eno tlorisno smer. Način armiranja in stikovanja armature je s stališča sedanjega vedenja pogosto neustrezen. Navpična armatura je nepravilno stikovana v območjih plastičnih členkov. Stremena niso zgoščena v območju največjih upogibnih momentov, kar se kaže v nizki strižni odpornosti. V primeru močnega potresa lahko pride do krhkega obnašanja in celo do porušitev takšnih okvirnih konstrukcij.

Ocene potresne odpornosti in ranljivosti stavb, pri ranljivejših pa tudi morebitna nevarnost resonance s tlemi, so strokovna podlaga za prednostni pristop k utrditvam objektov, kakor tudi za pripravo akcijskih načrtov zaščite in reševanja v primeru močnega potresa.

Uporabljeni podatki

Osnovo za raziskovalno delo sta predstavljali dve zbirki podatkov. Prva je bila zasnovana na ZAG in vsebuje podatke o 1039 stavbah v MOL. Zbirka vsebuje poleg osnovnih podatkov o stavbi (naslov, namembnost, leto izgradnje, število etaž) tudi podatek o vrsti konstrukcije in ocene potresne odpornosti in ranljivosti, izdelane z metodami, razvitimi na ZAG. Drugo bazo pa vzdržujemo na ARSO, kjer z metodo potresnega nemira merimo lastno frekvenco stavb in ugotavljamo morebitno resonanco s tlemi. V bazi je 207 zapisov o stavbah, v katerih smo opravili meritve potresnega nemira (Šket Motnikar in sod., 2010).

Na podlagi obeh baz posebej obravnavanih stavb smo določili zakonitosti, s katerimi želimo oceniti potresno odpornost in ranljivost ter nevarnost resonance večine stavb MOL. Pri tem smo uporabili tudi naslednje prostorske podatke:

- Register nepremičnin Slovenije (REN),
- karta projektnega pospeška tal Slovenije (Lapajne in sod., 2001),
- karta potresne mikrorajonizacije MOL za uporabo v sistemu varstva pred naravnimi in drugimi nesrečami – tip tal po EC8 (Zupančič in sod., 2004),

- karta Potresna mikrorajonizacija Ljubljane (AGO, ZAG in GZ, 1971),
- karta lastne frekvence tal (Gosar in sod., 2010a, 2010b),
- Centralni register prebivalstva z dne 19. 12. 2009 (CRP).

Analiza

Podatke iz različnih virov smo združili v programu Microsoft Access, ki je primeren za obdelavo in hranjenje večjih količin podatkov. Je tudi povezljiv s programskimi paketi ArcGIS (ESRI, 2009), s katerimi smo naredili prostorske analize in grafični prikaz rezultatov. S programskim paketom SPSS (SPSS Inc, 1999) smo naredili statistično analizo podatkov o stavbah in prebivalcih na raziskanem območju.

Na območju MOL je v registru napremičnin REN opisanih 72056 stavb. Potresno odpornost in potresno ranljivost smo ocenili za zidane (kamnite in opečne) stavbe – teh je 31069, nevarnost resonance pa tudi za armirano-betonske stavbe, ki jih je 8444 (Lutman in sod., 2010). Zanesljivost uporabljenih podatkov v RENU smo predhodno preverili na večjem številu stavb. Po Centralnem registru prebivalstva živi na tem območju 289776 prebivalcev (od tega je 260554 stalno in 29222 začasno prijavljenih). Metodologija določevanja lastne frekvence stavb in razpršitev ocen za zidane in armirano-betonske stavbe je opisana v (Šket Motnikar in sod., 2010).

V okviru večletnih raziskav smo na ZAG razvili metodologije za ocenjevanje potresne odpornosti in ranljivosti stavb različnih konstrukcijskih tipov, z njimi pa ocenili več skupin pomembnejših stavb v Mestni občini Ljubljana (Peruš in sod., 1995, Lutman in sod., 2001, Lutman in sod., 2010). Z metodo RAN-Z se potresna ranljivost izrazi s številčno oceno, zaradi lažjega razumevanja pa tudi z barvno kodo (slika 1). Razpon vrednosti RAN-Z je od 1 do 9, večja vrednost pomeni, da je objekt potresno bolj ranljiv. Potresno odpornost izraža koeficient potresne odpornosti SRCu-np., ki je razmerje med največjo vodoravno silo, ki jo stavba lahko prenese in njeno težo. Večja vrednost pomeni večjo potresno odpornost. Vrednosti se pri stavbah v MOL gibljejo pretežno med 0,05 in 0,50, kar pomeni, da so stavbe sposobne prevzeti vodoravne potresne sile v višini 5% oziroma 50% svoje teže. Na podlagi podatkov iz baze ZAG smo postavili zakonitosti za posplošene ocene potresne odpornosti in ranljivosti zidanih stavb z največ štirimi nadstropji (preglednica 1), ki smo jih uporabili za stavbe MOL iz razširjenega REN.

	zelena I / green I nepoškodovani objekti
	zelena II / green II manjše poškodbe, brez poškodb konstrukcije
	zelena III / green III objekti z majhnimi poškodbami konstrukcije
	rumena I / yellow I objekti z lažjimi poškodbami konstrukcije
	rumena II / yellow II objekti s srednje težkimi poškodbami konstrukcije
	rumena III / yellow III objekti s težjimi poškodbami konstrukcije
	rdeča I / red I težko poškodovani objekti
	rdeča II / red II delno porušeni objekti
	rdeča III / red III popolnoma porušeni objekti

Slika 1. Barvna lestvica ranljivosti – opis.

Figure 1. Vulnerability color chart and description:
 green I - no damage,
 green II - minor damage, no structural damage,
 green III - minor structural damage,
 yellow I - slight structural damage,
 yellow II - moderate structural damage,
 yellow III - heavy structural damage,
 red I - very heavy damage,
 red II - partial collapse,
 red III - total collapse.

Preglednica 1. Koeficient potresne odpornosti SRCu-np in potresna ranljivost RAN-Z zidanih stavb MOL.

Table 1. Seismic resistance coefficient SRCu-np and seismic vulnerability RAN-Z of masonry buildings in MOL.

	leto izgradnje year of construction	št. nadstropij no. of storeys	0	1	2	3	4
KAMEN STONE	< 1946	SRCu-np	0,51	0,136	0,123	0,111	0,100
		RAN-Z	5,49	5,81	6,12	6,44	6,76
OPEKA BRICK	< 1921	SRCu-np	0,199	0,172	0,149	0,128	0,111
		RAN-Z	4,63	5,08	5,53	6,00	6,44
	1921-1945	SRCu-np	0,229	0,192	0,16	0,134	0,112
		RAN-Z	4,20	4,74	5,31	5,86	6,41
	1946-1965	SRCu-np	0,206	0,190	0,175	0,162	0,149
		RAN-Z	4,52	4,78	5,03	5,27	5,53
	1966-1981	SRCu-np	0,324	0,292	0,263	0,237	0,214
		RAN-Z	3,12	3,44	3,77	4,09	4,41
	1982-2005	SRCu-np	0,453	0,425	0,398	0,373	-
		RAN-Z	2,08	2,28	2,48	2,69	-

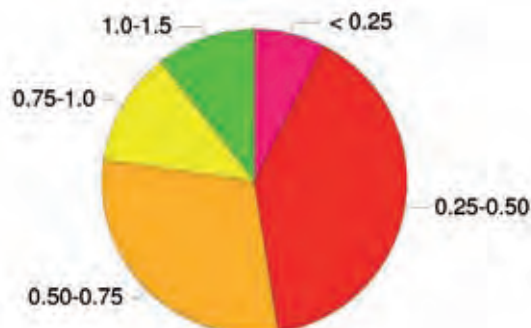
Rezultati

Stavba zadošča predpisom o potresno-odporni gradnji, kadar je njena potresna odpornost večja ali enaka predpisani potresni obtežbi. Za vsako stavbo smo izračunali dva koeficienta potresne obtežbe: po EC8 (BSCu) in po Pravilniku iz leta 1981 (VK). Pri tem smo upoštevali vrednosti parametrov glede na lastnosti in lego stavbe. Lastnosti stavbe določajo njeno odpornost (in posledično ranljivost), njena lega pa jo uvršča v neko območje vrednosti pospeška tal in ji s tem določa potresno nevarnost. Upoštevamo torej potresno odpornost in potresno nevarnost, kar pomeni, da obravnavamo potresno ogroženost stavb (in v nadaljevanju tudi ogroženost prebivalcev). Kadar je razmerje SRCu-np / BSCu (oz. SRCu-np / VK) večje od 1, je stavba dovolj potresno odporna po EC8 (oz. po Pravilniku). Takih zidanih stavb je v MOL le malo nad 10 % (oz. 70 %). Da bi razmerje med potresno odpornostjo in predpisano potresno obtežbo natančneje opredelili, smo vrednosti razdelili v razrede (preglednica 2 in slika 2 za EC8, preglednica 3 in slika 3 za Pravilnik). Prikazujemo tudi ustrezen delež prebivalcev (preglednica 4 in slika 4 za EC8, preglednica 5 in slika 5 za Pravilnik iz leta 1981). Na sliki 6 (oz. 7) je prostorski prikaz razmerja med potresno odpornostjo in (izračunano) predpisano potresno obtežbo zidanih stavb v MOL po EC8 (oz. po Pravilniku iz leta 1981). Prikazane so stavbe, katerim smo z razpršitvijo lahko ocenili potresno odpornost in potresno obtežbo. Opazen je vpliv večje potresne nevarnosti na južnem delu Ljubljane. Tam so na karti potresne mikrorajonizacije MOL (Zupančič in sod., 2004) najvišje vrednosti pospeška tal zaradi tipov tal E (faktor tal 1,7) in S1 (faktor tal 2,55).

Preglednica 2 in slika 2. Število in delež zidanih stavb v MOL z največ štirimi nadstropji glede na ocenjeno razmerje med potresno odpornostjo SRCu-*np* in predpisano potresno obtežbo BSCu po EC8.

Table 2 and Figure 2. Number and percentage of masonry buildings in Ljubljana with up to four storeys, with respect to the estimated ratio between seismic resistance SRCu-*np* and seismic load BSCu according to EC8.

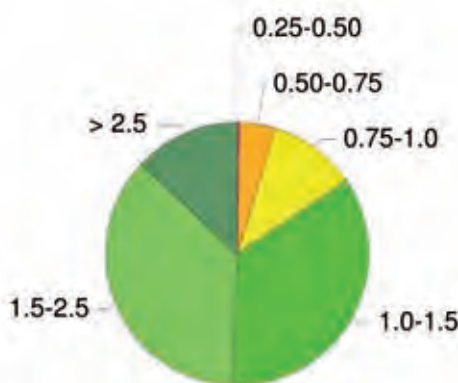
razmerje ratio	število stavb # buildings	%
< 0,25	2198	7,5
0,25-0,50	11744	40,1
0,50-0,75	8719	29,8
0,75-1,0	3572	12,2
1,0-1,5	3063	10,5
skupaj total	29296	100,0



Preglednica 3 in slika 3. Število in delež zidanih stavb v MOL z največ štirimi nadstropji glede na ocenjeno razmerje med potresno odpornostjo SRCu-*np* in predpisano potresno obtežbo VK po Pravilniku iz leta 1981.

Table 3 and Figure 3. Number and percentage of masonry buildings in Ljubljana with up to four storeys, with respect to the estimated ratio between seismic resistance SRCu-*np* and seismic load VK according to Code from 1981

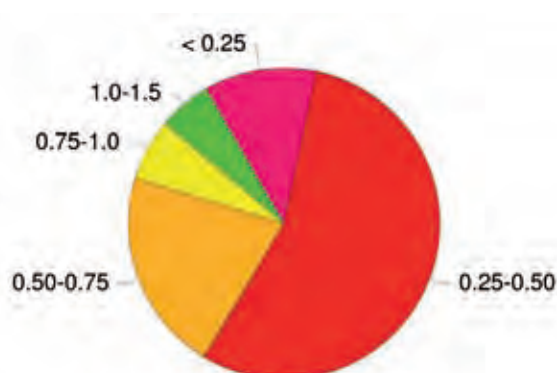
razmerje ratio	število stavb # buildings	%
0,25-0,50	62	0,2
0,50-0,75	1322	4,5
0,75-1,0	3132	10,7
1,0-1,5	10269	35,1
1,5-2,5	10594	36,2
> 2,5	3847	13,2
skupaj total	29226	100,0



Preglednica 4 in slika 4. Število in delež prebivalcev v zidanih stavbah MOL z največ štirimi nadstropji glede na ocenjeno razmerje med potresno odpornostjo SRCu-*np* in predpisano potresno obtežbo BSCu po EC8.

Table 4 and Figure 4. Number and percentage of the inhabitants living in masonry buildings in Ljubljana with up to four storeys, with respect to the estimated ratio between seismic resistance SRCu-*np* and seismic load BSCu according to EC8.

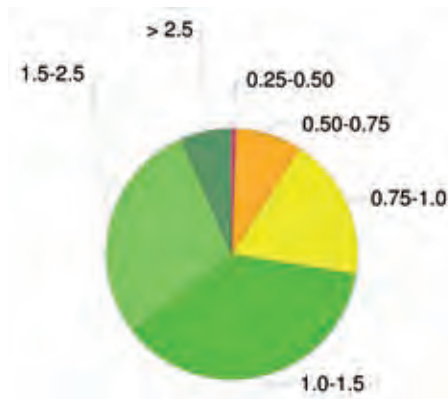
razmerje ratio	št. prebivalcev # inhabitants	%	število stavb # buildings
< 0,25	10438	11,6	1492
0,25-0,50	49574	55,3	8344
0,50-0,75	18978	21,2	4335
0,75-1,0	5604	6,3	1342
1,0-1,5	5025	5,6	1269
skupaj total	89619	100,0	16782



Preglednica 5 in slika 5. Število in delež prebivalcev MOL glede na ocenjeno razmerje med potresno odpornostjo SRCu-*np* in predpisano potresno obtežbo VK po Pravilniku iz leta 1981.

Table 5 and Figure 5. Number and percentage of inhabitants of Ljubljana with respect to the estimated ratio between seismic resistance SRCu-*np* and seismic load VK according to Code from 1981.

razmerje ratio	št. prebivalcev # inhabitants	%	število stavb # buildings
0,25-0,50	550	0,6	51
0,50-0,75	7588	8,5	877
0,75-1,0	16548	18,4	2304
1,0-1,5	33064	36,8	6000
1,5-2,5	26103	29,1	6147
> 2,5	5888	6,6	1415
skupaj total	89741	100,0	16794



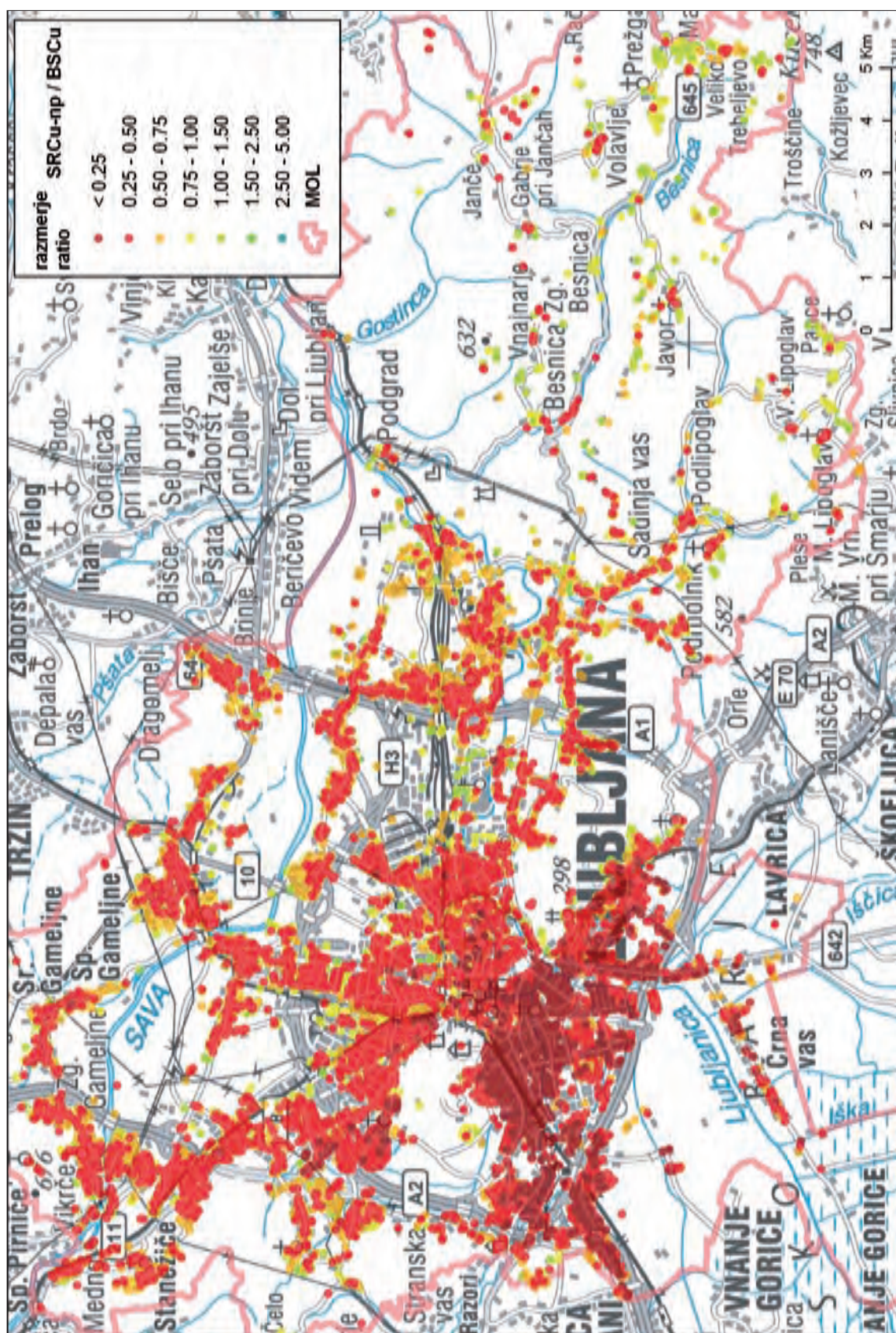
Potresna ranljivost zidanih stavb RAN-Z je v skladu s preglednico 1 določena za vse zidane stavbe MOL z največ štirimi nadstropji, ki imajo v RENU podane vrednosti za starost in število nadzemnih etaž. Število in odstotek zidanih stavb posamezne kategorije potresne ranljivosti sta prikazana v preglednici 6 in na sliki 8. V preglednici 7 in na sliki 9 je prikazan delež prebivalcev v posamezni kategoriji potresne ranljivosti zidanih stavb. Na sliki 10 je prikazana potresna ranljivost zidanih stavb, katerim je bila z razpršitvijo lahko pripisana ocena ranljivosti. Vsaka pika predstavlja eno stavbo, njena barva pa določa potresno ranljivost v skladu s preglednico 1. Kadar se pike prekrivajo, so vidne ranljivejše stavbe.

Zaključki

Stavbe v Mestni občini Ljubljana so zelo raznolike. Velika večina zgrajenega okolja v Ljubljani je iz časov pred uveljavitvijo danes veljavnih načel projektiranja in gradnje (35 % pred letom 1964, dodatnih 34 % pa v obdobju 1964 – 1981), drugačne od današnjih pa so tudi vrste uporabljenih gradiv. Pri načrtovanju potrebnih aktivnosti zaščite in reševanja ob potresu je ključnega pomena poznavanje potresne ogroženosti. Ocenjevanje potresne ogroženosti stavbe temelji na primerjavi potresne odpornosti stavbe in pričakovane potresne nevarnosti na območju, kjer stavba stoji.

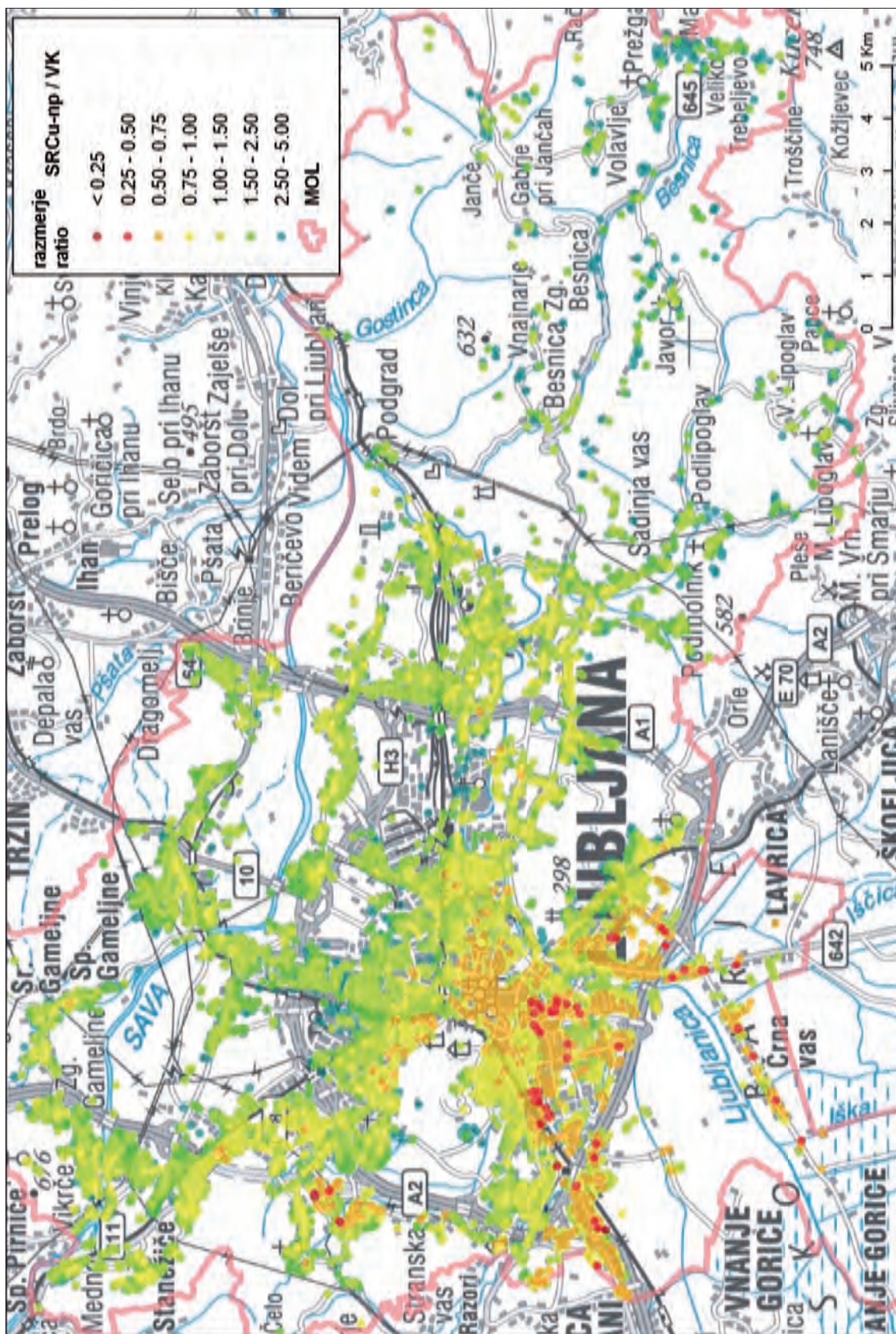
Za zidane stavbe so se do sedaj izdelane ocene potresne odpornosti in ranljivosti pokazale kot sorazmerno homogene in pričakovane, tako da je bilo mogoče za posamezne razrede stavb določiti posplošene zakonitosti. Za druge tipe konstrukcij ni bilo mogoče izdelati tovrstnih ocen. Prednostno bi bilo potrebno dopolniti bazo ocen armirano-betonskih stavb ter preveriti, kakšne so tiste stavbe v bazi REN, ki imajo kombinirano nosilno konstrukcijo. V nadaljevanju pa bi sledile stavbe z leseno in ostalimi vrstami nosilnih konstrukcij.

Poleg navedenega bi bilo smiselno, da se za bodoče popise nepremičnin, s katerimi se polni baza REN, pripravi dodatna navodila (npr. za opis konstrukcije). Za zanesljivejšo sliko o potresni ogroženosti prebivalcev in vseh drugih uporabnikov stavb pa bi bilo potrebno pridobiti boljše podatke o njihovi lokaciji v posameznih obdobjih dneva in tedna. Tako bi poleg podatkov o stalnem in začasnem prebivališču potrebovali tudi podatke o številu zaposlenih na dejanskih naslovih delovnega mesta, o številu učencev, dijakov in študentov na posameznih izobraževalnih ustanovah, o številu obiskovalcev oziroma sedežev v prireditvenih stavbah, o številu postelj v dijaških in študentskih domovih, bolnišnicah in podobno. Na tej osnovi bo mogoče izdelati različne scenarije ob pričakovanem potresu: oceno števila in stopnje poškodovanosti stavb in oceno števila prizadete populacije.



Slika 6. Razmerje med potresno odpornostjo in predpisano potresno obtežbo zidanih stavb z največ štirimi nadstropji po EC8 (SRCu-np / BSCu).

Figure 6. Ratio between seismic resistance SRCu-np and seismic load BSCu according to EC8 for masonry buildings with up to four storeys in Ljubljana.

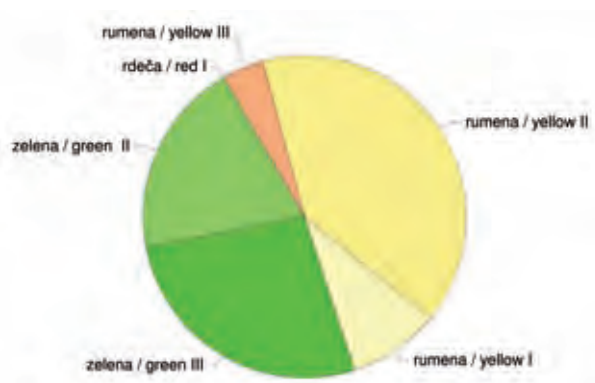


Slika 7. Razmerje med potresno odpornostjo in predpisano potresno obtežbo zidanih stavb z največ štirimi nadstropji po Pravilniku iz leta 1981 (SRCu- n_p / VK).

Figure 7. Ratio between seismic resistance SRCu- n_p and seismic load VK according to Code from 1981, for masonry buildings with up to four storeys in Ljubljana.

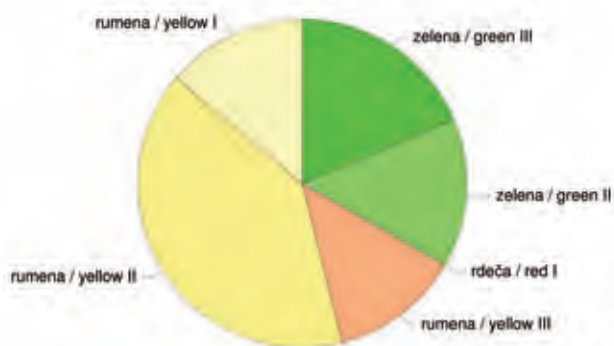
Preglednica 6 in slika 8. Potresna ranljivost zidanih stavb MOL z največ štirimi nadstropji glede na konstrukcijo.
Table 6 and Figure 8. Seismic vulnerability of masonry buildings in Ljubljana with up to four storeys.

ranljivost vulnerability	kamen stone	opeka brick	vse zidane all masonry
rdeča I red I	5 0,5%		5 0,0%
rumena III yellow III	468 44,9%	771 2,7%	1239 4,2%
rumena II yellow II	570 54,7%	11140 39,3%	11710 39,8%
rumena I yellow I		2751 9,7%	2751 9,4%
zelena III green III		7887 27,8%	7887 26,8%
zelena II green II		5797 20,5%	5797 19,7%
skupaj total	1043 100,0%	28346 100,0%	29389 100,0%



Preglednica 7 in slika 9. Število in delež prebivalcev zidanih stavb glede na potresno ranljivost stavb v MOL..
Table 7 and Figure 9. Number and percentage of inhabitants due to vulnerability of Ljubljana masonry buildings.

ranljivost vulnerability	vsi prebivalci all inhabitants	st. prijavljeni permanent	zač. prijavljeni temporary
rdeča I red I	85 0,1%	38 0,0%	47 0,6%
rumena III yellow III	11495 12,8%	9913 12,0%	1582 21,0%
rumena II yellow II	36004 40,0%	33082 40,1%	2922 38,8%
rumena I yellow I	12455 13,8%	11324 13,7%	1131 15,0%
zelena III green III	16728 18,6%	15934 19,3%	794 10,6%
zelena II green II	13177 14,7%	12131 14,7%	1046 13,9%
skupaj total	89944 100,0%	82422 100,0%	7522 100,0%



Literatura

- Environmental Systems Research Institute, Inc. (ESRI), 1999-2009. ArcGIS Desktop 9.3.
- Gosar A., Rošer J., 2010a. Raziskave krajevnega vpliva mehkih sedimentov na potresno nihanje tal na območju Ljubljane z metodo mikrotremorjev, Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Gosar A., Rošer J., Šket Motnikar B., Zupančič P., 2010b. Microtremor study of site effects and soil-structure resonance in the city of Ljubljana (Central Slovenia), Bulletin of Earthquake Engineering, 8:571-592.
- Lapajne J., Šket Motnikar B., Zupančič P., 2001. Potresna nevarnost Slovenije - Projektni pospešek tal, Karta, Ministrstvo za okolje in prostor, Agencija RS za okolje.
- Lutman M., Peruš I., Tomažević M., 2001. Potresna odpornost objektov v Mestni občini Ljubljana, Raziskovalni projekt MOL, Zaključno poročilo, Ljubljana.
- Lutman M., Zupančič P., Šket Motnikar B., Plos M., Gosar A., Rošer J., Mladenović B., 2010. Zgodovina gradnje v Ljubljani - Pregled gradbenih lastnosti ter potresne odpornosti in ranljivosti objektov, Raziskovalni projekt MOL, Zaključno poročilo, Ljubljana.



Slika 10. Potresna ranljivost zidanih stavb MOL z največ štirimi nadstropji.

Figure 10. Seismic vulnerability of Ljubljana masonry buildings with up to four storeys.

- Peruš I., Fajfar P., Reflak J., 1995. Potresna ogroženost in varstvo pred potresi – Metodologija za oceno potresne ranljivosti obstoječih gradbenih objektov: zidane in armiranobetonske konstrukcije stavb, Poročilo št. 1, Univerza v Ljubljani, FGG, IKPIR, december 1995, naročnika: Ministrstvo za obrambo RS in Ministrstvo za znanost in tehnologijo RS (pogodba št. S2-6454-0792-94).
- Astronomsko geofizikalni observatorij s sodelovanjem Zavoda za raziskavo materiala in konstrukcij ter Geološkega zavoda, 1971, Potresna mikrorajonizacija Ljubljane, Ljubljana.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- SPSS Inc., 1999. SPSS (Statistical package for social sciences) Base 9.0 User's Guide, printed in USA.
- Šket Motnikar B., Zupančič P., Mladenović B., Gosar A., 2010. Meritve potresnega nemira v stavbah Ljubljane. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo.
- UL RS, št. 101/2005, Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov.
- UL SFRJ 31/1981, 49/1982, 29/1983, 21/1988 in 52/1990, Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih s spremembami in dopolnitvami.
- UL SRS, št. 18/63, Odredba o dimenzioniranju in izvedbi gradbenih objektov v potresnih območjih.
- Zupančič P., Šket Motnikar B., Gosar A., Prosen T., 2004. Karta potresne mikrorajonizacije Mestne občine Ljubljana, Potresi v letu 2002, str. 32-54, Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

PREVERJANJE KARTE POTRESNE NEVARNOSTI SLOVENIJE REESTIMATION OF SLOVENIAN SEISMIC HAZARD MAP

Barbara Šket Motnikar

Povzetek

V skladu s standardom ISO na ARSO vsakih pet let preverjamo uradno veljavno karto potresne nevarnosti Slovenije. Zadnje preverjanje smo opravili po močnem potresu v Posočju leta 2004. Po letu 2004 v Sloveniji ni bilo močnih potresov ali pomembnih sprememb v metodologiji izračuna. Bistvena novost v tem obdobju je nova zakonodaja o potresno odporni gradnji (Slovenski standard Evrokod 8 - EC8), po kateri je karta projektnega pospeška tal (Lapajne in drugi, 2001), ki jo v tem prispevku preverjamo, edina uradna karta potresne nevarnosti. Novost so tudi številni novi modeli pojemanja pospeška z oddaljenostjo. Novi modeli pojemanja imajo zelo veliko vrednost standardnega odklona, kar povečuje izračunane pospeške in poudarja vpliv nizkih magnitud. Po svetu so bili zelo veliki pospeški v resnici izmerjeni tudi pri zmernih magnitudah, vendar pa pri tem ni nastala pospeškom ustrezna škoda. Poskusno smo izračunali karte potresne nevarnosti Slovenije z novimi modeli pojemanja ter preučili vpliv začetne magnitude in b-vrednosti. Zaenkrat ohranjamo dosedanje uradno karto potresne nevarnosti, saj so mnenja svetovne stroke glede novih modelov pojemanja nedorečena in neenotna. Poleg tega smo šele leta 2008 uradno uveljavili standard EC8, ki tako ali tako zahteva bistveno strožja merila za potresno odporno gradnjo.

Abstract

Slovenian seismic hazard map is reevaluated every five years as is required by ISO standard. There were no strong earthquakes in Slovenia after Posočje earthquake in 2004 and no significant changes in seismic hazard assessment methodology occurred. However in this period numerous new ground motion prediction equations (GMPE) have been published and Slovenian Eurocode Standard - EC8, which requires significantly higher criteria for earthquake resistant building, came into force in 2008. Design ground acceleration map of Slovenia that was reevaluated in this report, is in accordance with the requirements of EC8, by which seismic hazard should be represented in terms of peak ground acceleration PGA on rock for return period 475 years. New GMPEs have quite large standard deviations, which increase PGA values and (some of them) exaggerate the impact of low magnitudes. Large accelerations were recorded worldwide at moderate magnitudes, but the corresponding damage was often negligible. Preliminary seismic hazard maps for each new GMPE have been calculated but as experts' opinions on new GMPEs are not uniform, the current seismic hazard map of Slovenia still remains officially valid. Sensitivity analysis on lower bound magnitude and b-value has been performed as well.

Uvod

V skladu s standardom ISO je potrebno vsakih pet let preveriti uradno karto potresne nevarnosti Slovenije (Godec in Šket Motnikar, 2004). Zadnje preverjanje smo opravili po močnem potresu v Posočju leta 2004 (Šket Motnikar, 2004). Takrat sta bili uradno veljavni dve karti: karta intenzitete (Ribarič, 1987) in karta projektnega pospeška tal (Lapajne in drugi, 2001). Po letu 2004 v Sloveniji ni bilo močnih potresov ali bistvenih sprememb v metodologiji izračuna. Spremenjena pa je zakonodaja o potresno odporni gradnji, po vsem svetu pa so novi tudi številni modeli pojemanja.

Slovenija je v začetku leta 2008 sprejela v obvezno uporabo slovenski in evropski standard EC8 (EC8 EN, 2004; SIST EN 1998-1:2005; SIST EN 1998-1:2005/0A101:2005, UL RS, št. 101/2005). Z uvedbo EC8 je prenehala veljati karta potresne intenzitete (Ribarič, 1987; UL SFRJ 31/1981, 49/1982, 29/1983, 21/1988 in 52/1990). Namesto nje uporabljamo sodobno karto potresne nevarnosti (Lapajne in drugi, 2001), ki je izdelana v skladu z EC8. Potresna nevarnost je podana s projektnim oz. največjim pospeškom tal PGA na trdnih tleh za povratno dobo 475 let. Tej povratni dobi ustreza faktor pomembnosti 1, ki označuje običajne stavbe. Za druge stavbe je projektni pospešek enak zmnožku največjega pospeška in faktorja pomembnosti. To pomeni, da je za pomembnejše stavbe upoštevana večja povratna doba. Poleg največjega pospeška tal določamo tudi prožnostne spektre

odziva za različne tipe tal. Posameznemu tipu tal ustreza poseben faktor tal, ki ga opredeljuje EC8. Vrednosti pospeškov so izračunane po metodologiji verjetnostnega ocenjevanja potresne nevarnosti, natančneje z metodo glajenja potresne dejavnosti (Lapajne in drugi, 2001).

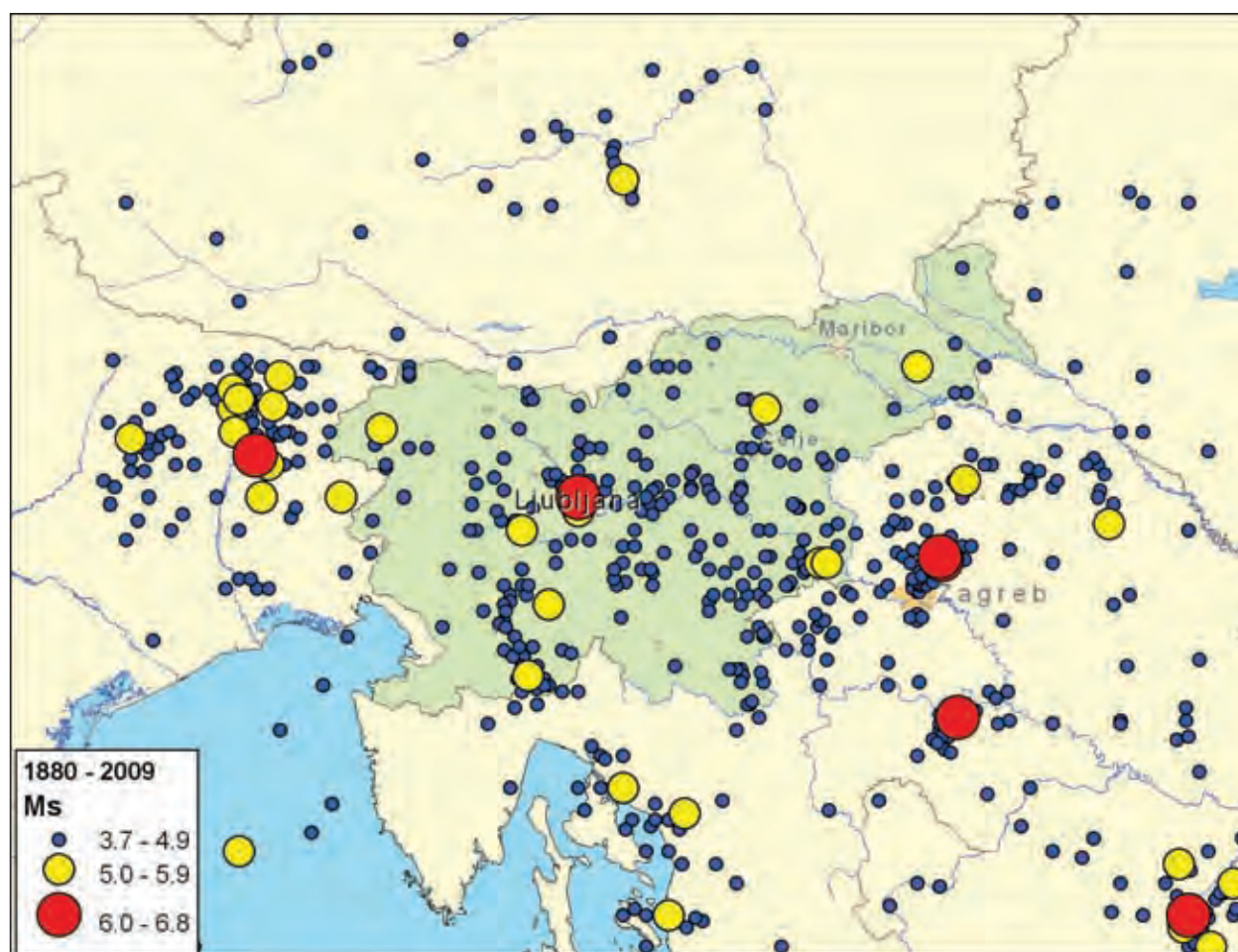
Katalog potresov

Katalog potresov je osnovna podatkovna baza za oceno potresne nevarnosti. V letu 2009 je bil katalog potresov Slovenije in obmejnih področij posodobljen (Živčič, 2009). Vsebuje 1575 potresov s poenoteno magnitudo $M_s \geq 3,7$, od tega je 995 potresov glavnih, med seboj neodvisnih dogodkov. Za izračun potresne nevarnosti je potrebno iz kataloga izločiti popotrese ter opredeliti njegovo celovitost (kompletnost).

Predpogoj za nadaljnjo statistično obdelavo je, da imajo vsi potresi ocenjeno moč na enak način. Zato je v katalogu podana poenotena magnituda M_w , ki najbolj ustreza magnitudi površinskih valov M_s . Nekateri modeli pojemanja pa upoštevajo momentno magnitudo M_w , za katero je pripravljena druga različica kataloga.

Kompletnost (celovitost) kataloga

V katalogu potresov za poenoteno magnitudo M_s smo s posebnim matematičnim postopkom opredelili dva celovita (kompletna) podkataloga, za katera predpostavljamo, da so zabeleženi vsi dogodki nad določeno spodnjo mejo magnitude: (1) od leta 1880 do leta 2008 za magnitudo nad



Slika 1. Nadžarišča glavnih potresov v obdobju 1880-2009 (prvi celovit podkatalog). Velikost kroga ponazarja poenoteno magnitudo potresa M_s . Izdelava slike: Zupančič P.

Figure 1. Epicentres of main earthquakes in the period 1880-2009 (first complete subcatalogue). Circle size is correlated to unified magnitude M_s . Figure made by Zupančič P.

3,7 (slika 1) in (2) za čas od leta 1690 do leta 2008 za magnitudo nad 5,0. V katalogu potresov za magnitudo M_w prvemu celovitemu podkatalogu ustreza spodnja magnituda 4,2, v drugem podkatalogu pa je spodnja magnituda enaka 5,0.

Izločanje pred in popotresov

Za opredelitev časovnega zaporedja potresov se v praksi večinoma uporablja Poissonov proces. Ker so dogodki Poissonovega procesa med seboj neodvisni, moramo iz potresnega kataloga predhodno odstraniti pred- in popotrese. Za izločevanje popotresov iz kataloga smo uporabili enostavno metodo prostorsko časovnega okna (Knopoff in Gardner, 1972). Po tej metodi se potresi v določenem časovnem obdobju po glavnem potresu in v določeni oddaljenosti izločijo kot popotresi glavnega dogodka (Keilis-Borok in drugi, 1980). Za izločanje popotresov smo uporabili parametre, podane v preglednici 1. Izločanje predpotresov poteka podobno.

Običajno predpostavimo dvojno odsekano eksponentno relacijo med številom potresov in magnitudo. Parameter b določa naklon te krivulje in je mera za razmerje med velikimi in majhnimi potresi. Za izračun parametra b je potrebno imeti veliko število potresov v dovolj velikem prostoru. Zato smo se odločili za opredelitev enotne vrednosti parametra b za celotno obravnavano področje, zajeto v katalogu potresov (npr. Gomberg, 1991). Uporabili smo metodo D. H. Weichert (Weichert, 1980). Potrese smo grupirali v magnitudne razrede širine 0,1 magnitudne enote, kot so podani v katalogu potresov.

Preglednica 1. Parametri prostorsko časovnega okna za izločanje popotresov pri različnih vrednostih magnitude M . Vrednosti so enake za obe vrsti poenotene magnitude.

Table 1. Space-time window parameters for aftershock elimination at different magnitude values. Values are equal for both magnitude types.

M	oddaljenost / distance	čas / time period
	km	št. dni / days
< 3,50	10	35
3,50 - 4,00	15	50
4,00 - 4,50	25	75
4,50 - 5,00	35	100
5,00 - 5,50	50	150
5,50 - 6,00	80	200
6,00 - 9,00	100	280

Parameter b

Za potrese z magnitudo M_s nad 3,7, ki so se na obravnavanem ozemlju zgodili od leta 1880 do 2008 (prvi celovit katalog), je vrednost parametra b enaka 1,0 s standardnim odklonom 0,05. Ta vrednost je skoraj enaka tudi za drugo vrsto poenotene magnitude, za M_w nad 4,2. Za potrese v drugem celovitem katalogu (nad magnitudo 5,0 v obdobju 1690 do 2008) je vrednost b precej višja (približno 1,3), vendar bomo zaradi boljše statistike (večje število potresov) za izračun potresne nevarnosti za vse modele uporabili vrednost $b=1,0$.

Postopek ocenjevanja potresne nevarnosti

Za izdelavo uradne karte potresne nevarnosti Slovenije, t.j. karte projektnega pospeška tal (Lapajne in drugi, 2001) smo uporabili postopek glajenja, ki je primeren za območja, kjer ni mogoče zanesljivo povezati žarišč z opredeljenimi prelomi (Lapajne in drugi, 2003). Metodologija

izhaja iz ameriškega postopka krožnega Gaussovega glajenja števila preteklih nadžarišč (Frankel, 1995), ki je bil uporabljen pri izdelavi najnovejših kart potresne nevarnosti ZDA (Frankel in drugi, 2000; Petersen in drugi, 2008). Za potrebe Slovenije smo ameriški pristop izpopolnili: vpeljali smo energijske modele, krožno glajenje smo nadgradili z eliptičnim, preko katerega smo vključili še seizmotektonske elemente (predvsem smer in dolžino prelomov) in izdelali lasten računalniški program (Zabukovec, 2000; Šket Motnikar in drugi, 2007). Zaradi nezanesljivosti vhodnih podatkov smo oblikovali pet porazdelitev preteklih nadžarišč (M1, M2, M1e, M2e in M3e) in preizkusili devet modelov pojemanja. Računalniški program omogoča uporabo vseh 9 izbranih modelov pojemanja. Podrobnosti postopka so opisane v (Lapajne in drugi, 2001; 2003) in (Šket Motnikar in drugi, 2000).

Med najvplivnejšimi podatki za izračun potresne nevarnosti je model pojemanja, ki določa odvisnost med danim parametrom gibanja tal (npr. pospeškom tal), magnitudo, oddaljenostjo od žarišča ter značilnostmi žariščnega mehanizma. Pri tem so koeficienti določeni po metodi regrese na podlagi množice izmerjenih vrednosti gibanja tal med močnimi potresi. Zaradi velikega števila na novo postavljenih instrumentov po vsem svetu se je v zadnjem desetletju zelo razširila podatkovna baza meritev in število objavljenih modelov pojemanja. Hkrati z večanjem števila meritev pa so bili zabeleženi tudi veliki razponi pospeška tal (pri enaki magnitudi in razdalji), s čimer se je povečala razpršenost modela oz. standardni odklon (σ). Izmerili pa so tudi nekaj presenetljivo visokih vrednosti pospeška: ob potresu na Japonskem so npr. zabeležili pospešek tal 4 g (Yamada in sod., 2009). V razmahu novo objavljenih modelov pojemanja je prišlo tudi do precejšnje zmede zaradi posledično nepričakovano visokih ocen potresne nevarnosti. Te so predvsem posledica večje modelne razpršenosti, ki ima še posebej velik vpliv na oceno potresne nevarnosti pri večjih povratnih dobah, torej prav za najpomembnejše objekte. Tako so npr. rezultati enega najobsežnejših projektov za oceno potresne nevarnosti (projekt PEGASOS za jedrske elektrarne v Švici, https://portal.swissnuclear.ch/index_en.html) kljub najelitnejšim strokovnjakom še vedno nedorečeni in vir številnih kritik (npr. Scherbaum in drugi, 2006).

Državno mrežo potresnih opazovalnic smo začeli postavljati šele po potresu v Posočju leta 2004, zato imamo veliko premalo meritev pospeškov ob zelo močnih potresih za določitev slovenskega modela pojemanja. Zato smo preiskovali 9 evropskih in svetovnih modelov pojemanja. Na izbor so vplivale objave v uglednih revijah, priporočila strokovnjakov (Fajfar in drugi, 2008; Douglas in drugi, 2008), primernost za slovenski prostor ter omejitve uporabljene programske opreme. V preglednici 2 so navedeni izbrani modeli pojemanja z oznakami, vrsto magnitude ter veljavnim razponom magnitude. Posebej je označeno tudi, kadar standardni odklon (σ) nima konstantne vrednosti, ampak je odvisen od vrednosti magnitude. Zaradi primerjave z uradno karto potresne nevarnosti Slovenije smo obdržali tudi še model Sabetta - Pugliese (1996),

Preglednica 2. Uporabljeni modeli pojemanja.

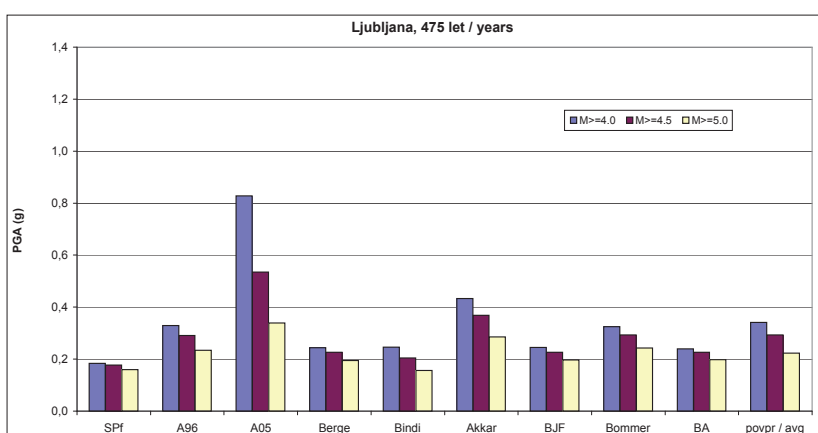
Table 2. Selected equations for ground motion prediction.

avtorji modela pojemanja	oznaka	tip M	razpon M	sigma
Ground motion prediction equation	label	M type	M range	sigma
Ambraseys in drugi (1996, 2005)	A96, A05	M_w M_w	4,0-7,5 5,0-7,5	$\sigma \neq f(M)$ $\sigma = f(M)$
Sabetta - Pugliese (1996)	SPf, SPe	M_s , M_l	4,6-6,8	$\sigma \neq f(M)$
Akkar - Bommer (2007)	Akkar	M_w	5,0-7,6	$\sigma = f(M)$
Berge-Thierry in drugi (2003)	Berge	M_s	4,0-7,9	$\sigma \neq f(M)$
Boore - Atkinson (2008)	BA	M_w	5,0-8,0	$\sigma \neq f(M)$
Bindi, Luzi, Pacor, Sabetta, Masa (2009)	Bindi	M_s , M_l	4,6-6,8	$\sigma \neq f(M)$
Bommer, Stafford, Alarcon, Akkar (2007)	Bommer	M_w	3,0-7,6	$\sigma \neq f(M)$
Boore, Joyner, Fumal (1997)	BJF	M_w	5,5-7,5	$\sigma \neq f(M)$

čprav avtorja sama priznavata, da je standardni odklon modela podcenjen in je njun model nadgrajen kot (Bindi in drugi, 2009). Včasih v Evropi najbolj uporabljan model (Ambraseys in drugi, 1996) je bil leta 2005 izpopolnjen, a z manjšim magnitudnim razponom veljavnosti.

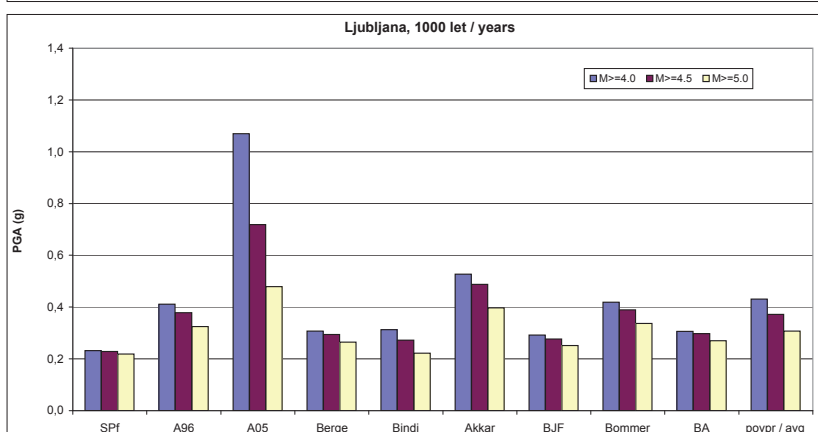
Vpliv spodnje meje magnitude

Ker zelo šibki potresi ne povzročajo poškodb na zgradbah, bi pričakovali, da bo izračunana potresna nevarnost na dani lokaciji neodvisna od izbire spodnje meje magnitude, dokler je le-ta nizka. Če bi npr. predpostavili, da potresi pod magnitudo 5 ne morejo poškodovati nekega dobro zgrajenega, potresno odpornega objekta, bi moralo biti vseeno, ali za spodnjo mejo magnitude izberemo magnitudo 3 ali pa 5. Žal pa to zaradi velike vrednosti standardnega odklona v novih modelih pojemanja ni res (preglednica 3, na kateri so v modri barvi modeli z magnitudo M_s , z rdečo barvo pa modeli z magnitudo M_w ; ter slike 2-4). Posebej se to kaže v modelih pojemanja, kjer je vrednost sigme odvisna od magnitude. Tako lahko zelo malo verjetne, a izredno visoke vrednosti pospeška pri nizki magnitudi povečajo potresno nevarnost dane lokacije. To slabost



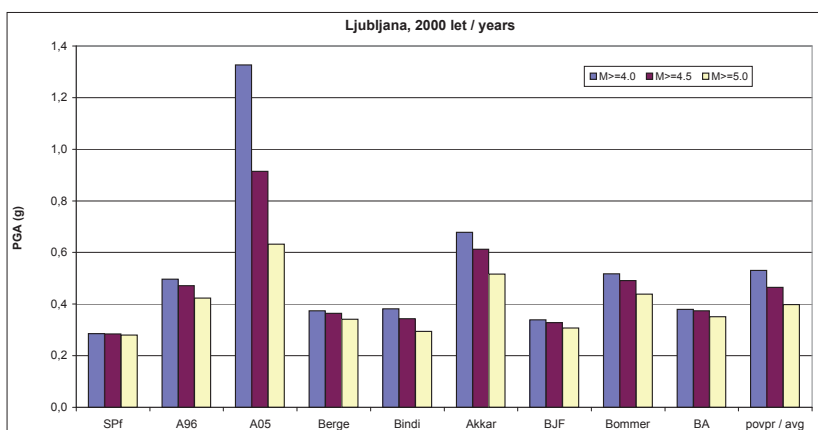
Slika 2. Vpliv spodnje meje magnitude na vršni pospešek tal v Ljubljani pri povratni dobi 475 let.

Figure 2. Impact of lower bound magnitude on PGA in Ljubljana at return period 475 years.



Slika 3. Vpliv spodnje meje magnitude na vršni pospešek tal v Ljubljani pri povratni dobi 1000 let.

Figure 3. Impact of lower bound magnitude on PGA at return period 1000 years.



Slika 4. Vpliv spodnje meje magnitude na vršni pospešek tal v Ljubljani pri povratni dobi 2000 let.

Figure 4. Impact of lower bound magnitude on PGA in Ljubljana at return period 2000 years.

PGA (g)	475						1000						2000					
	povp/avg	M1	M1e	M2	M2e	M3e	povp/avg	M1	M1e	M2	M2e	M3e	povp/avg	M1	M1e	M2	M2e	M3e
M 4.0																		
SPf	0,18	0,18	0,22	0,16	0,19	0,18	0,23	0,22	0,27	0,20	0,24	0,23	0,29	0,27	0,33	0,25	0,29	0,29
A96	0,33	0,38	0,40	0,28	0,31	0,28	0,41	0,47	0,49	0,35	0,38	0,35	0,50	0,57	0,59	0,42	0,46	0,43
A05	0,83	0,90	0,95	0,73	0,82	0,7325	0,82	1,15	1,22	0,96	1,07	0,96	1,33	1,41	1,50	1,21	1,33	1,19
Berge	0,24	0,24	0,28	0,21	0,25	0,24	0,31	0,30	0,35	0,27	0,31	0,31	0,37	0,37	0,43	0,33	0,38	0,37
Bindi	0,25	0,24	0,30	0,21	0,25	0,23	0,31	0,30	0,37	0,27	0,32	0,29	0,38	0,37	0,45	0,33	0,39	0,36
Akkar	0,43	0,50	0,52	0,37	0,41	0,37	0,53	0,50	0,66	0,48	0,52	0,48	0,68	0,77	0,80	0,59	0,64	0,59
BJF	0,25	0,28	0,28	0,22	0,23	0,22	0,29	0,33	0,34	0,26	0,27	0,26	0,34	0,38	0,39	0,30	0,32	0,31
Bommer	0,32	0,39	0,39	0,27	0,29	0,28	0,42	0,50	0,50	0,35	0,38	0,36	0,52	0,61	0,62	0,44	0,47	0,45
BA	0,24	0,29	0,30	0,19	0,21	0,20	0,31	0,37	0,38	0,25	0,27	0,26	0,38	0,46	0,47	0,31	0,34	0,32
povp/avg	0,34	0,38	0,40	0,29	0,33	0,30	0,43	0,46	0,51	0,38	0,42	0,39	0,53	0,58	0,62	0,46	0,51	0,48
M 4.5																		
SPf	0,18	0,17	0,21	0,15	0,18	0,17	0,23	0,22	0,27	0,19	0,23	0,23	0,28	0,27	0,33	0,24	0,29	0,29
A96	0,29	0,36	0,37	0,23	0,26	0,24	0,38	0,46	0,48	0,31	0,34	0,31	0,47	0,56	0,59	0,39	0,42	0,40
A05	0,54	0,65	0,67	0,43	0,49	0,45	0,72	0,84	0,88	0,60	0,67	0,61	0,91	1,05	1,10	0,78	0,86	0,78
Berge	0,23	0,22	0,26	0,19	0,23	0,23	0,29	0,29	0,34	0,25	0,30	0,29	0,36	0,36	0,42	0,32	0,37	0,36
Bindi	0,20	0,20	0,25	0,17	0,21	0,20	0,27	0,26	0,33	0,23	0,28	0,26	0,34	0,33	0,41	0,29	0,35	0,33
Akkar	0,37	0,46	0,46	0,29	0,33	0,31	0,49	0,59	0,60	0,40	0,44	0,41	0,61	0,72	0,75	0,51	0,56	0,52
BJF	0,23	0,27	0,27	0,19	0,21	0,20	0,28	0,32	0,33	0,24	0,25	0,25	0,33	0,38	0,39	0,28	0,30	0,29
Bommer	0,29	0,37	0,37	0,23	0,25	0,25	0,39	0,48	0,48	0,31	0,34	0,33	0,49	0,59	0,60	0,40	0,44	0,42
BA	0,23	0,28	0,29	0,18	0,19	0,19	0,30	0,37	0,38	0,23	0,26	0,25	0,37	0,45	0,47	0,30	0,33	0,31
povp/avg	0,29	0,33	0,36	0,26	0,26	0,25	0,37	0,43	0,45	0,31	0,35	0,33	0,46	0,53	0,56	0,39	0,44	0,41
M 5.0																		
SPf	0,16	0,15	0,20	0,13	0,16	0,16	0,22	0,21	0,26	0,18	0,22	0,22	0,28	0,27	0,33	0,24	0,28	0,28
A96	0,23	0,32	0,32	0,17	0,18	0,18	0,32	0,42	0,44	0,24	0,27	0,25	0,42	0,54	0,56	0,32	0,36	0,34
A05	0,34	0,46	0,46	0,24	0,27	0,26	0,48	0,62	0,63	0,36	0,40	0,38	0,63	0,79	0,81	0,49	0,55	0,51
Berge	0,19	0,20	0,23	0,16	0,19	0,20	0,27	0,26	0,31	0,22	0,26	0,27	0,34	0,33	0,39	0,29	0,34	0,35
Bindi	0,16	0,15	0,19	0,12	0,16	0,16	0,22	0,22	0,27	0,18	0,22	0,22	0,29	0,29	0,36	0,24	0,30	0,29
Akkar	0,29	0,39	0,39	0,20	0,22	0,22	0,40	0,52	0,52	0,30	0,33	0,32	0,52	0,65	0,66	0,40	0,44	0,42
BJF	0,20	0,25	0,25	0,15	0,17	0,17	0,25	0,31	0,31	0,20	0,22	0,22	0,31	0,37	0,38	0,25	0,27	0,27
Bommer	0,24	0,33	0,32	0,17	0,19	0,19	0,34	0,44	0,44	0,25	0,27	0,27	0,44	0,56	0,56	0,34	0,37	0,36
BA	0,20	0,27	0,27	0,14	0,15	0,16	0,27	0,35	0,36	0,20	0,22	0,22	0,35	0,45	0,46	0,27	0,29	0,29
povp/avg	0,22	0,28	0,29	0,16	0,19	0,19	0,31	0,37	0,39	0,24	0,27	0,26	0,40	0,47	0,50	0,32	0,36	0,35

Preglednica 3. Vpliv spodnje meje magnitude na izračun vršnega pospeška tal PGA pri povratni dobi od 475, 1000 in 2000 let. Oznake modelov pojevanja so v skladu s preglednico 2.

Table 3. Impact of lower bound magnitude on PGA. Ground motion prediction equations are denoted as in Table 2.e

metodologije poskušamo premostiti z izbiro najmanjše spodnje meje magnitude, za katero še verjamemo, da lahko povzroči poškodbe. To izbiro dodatno omejujejo modeli pojemanja, ki so veljavni le v določenem magnitudnem razponu.

V praksi je izbira spodnje meje magnitude odvisna tudi od namena ocenjevanja potresne nevarnosti: inženirsko zelo dobro grajene stavbe (npr. jedrske elektrarne) imajo lahko večjo spodnjo magnitudo, ne sme pa presežati M_w vrednosti 5,0. Pri nacionalni karti potresne nevarnosti pa (posredno) ocenjujemo predvsem potresno nevarnost za običajne stavbe, med katerimi je velik delež starejših in potresno manj odpornih, zato je ustrezna vrednost spodnje meje magnitude v praksi manjša (npr. 4,0 ali 4,5 za obe vrsti magnitude). Za lažjo izbiro spodnje meje magnitude za Slovenijo smo v katalogu potresov preverili število in razmerje potresov z magnitudo manjšo od 5, ki so povzročili škodo (intenziteta vsaj VI) - preglednica 4a) za magnitudo M_w , 4b) za magnitudo M_s . Obdobja nismo omejevali, a upoštevali smo le tiste potrese, za katere je bila magnituda določena iz instrumentalnih zapisov (in ne iz makroseizmičnih podatkov). Ugotovimo lahko, da je več kot polovica potresov magnitude $4,0 \leq M_s \leq 4,4$ in $4,5 \leq M_w \leq 4,9$ povzročila poškodbe. Zato smo za M_s izbrali spodnjo mejo 4,0, za M_w pa spodnjo mejo 4,5.

Preglednica 4. Potresi z magnitudo $4,0 \leq M < 5$ in njihova intenziteta: a) za magnitudo M_w , b) za magnitudo M_s . Upoštevani so le potresi, za katere je magnituda določena iz instrumentalnih zapisov (in ne iz makroseizmičnih podatkov).

Table 4. Earthquakes with magnitude $4,0 \leq M < 5$: a) for M_w , b) for M_s and their intensities. If the magnitude is calculated from macroseismic data, the corresponding earthquake is not considered.

a)

M_w	brez poškodb no damage	VI, VI-VII	\geq VII	skupaj total
4,0- 4,4	57	30	1	88
	64,8%	34,1%	1,1%	100,0%
4,5- 4,9	29	62	8	99
	29,3%	62,6%	8,1%	100,0%
skupaj total	86	92	9	187
	46,0%	49,2%	4,8%	100,0%

b)

M_s	brez poškodb no damage	VI, VI-VII	\geq VII	skupaj total
4,0- 4,4	33	59	2	94
	35,1%	62,8%	2,1%	100,0%
4,5- 4,9	4	22	10	36
	11,1%	61,1%	27,8%	100,0%
skupaj total	37	81	12	130
	28,5%	62,3%	9,2%	100,0%

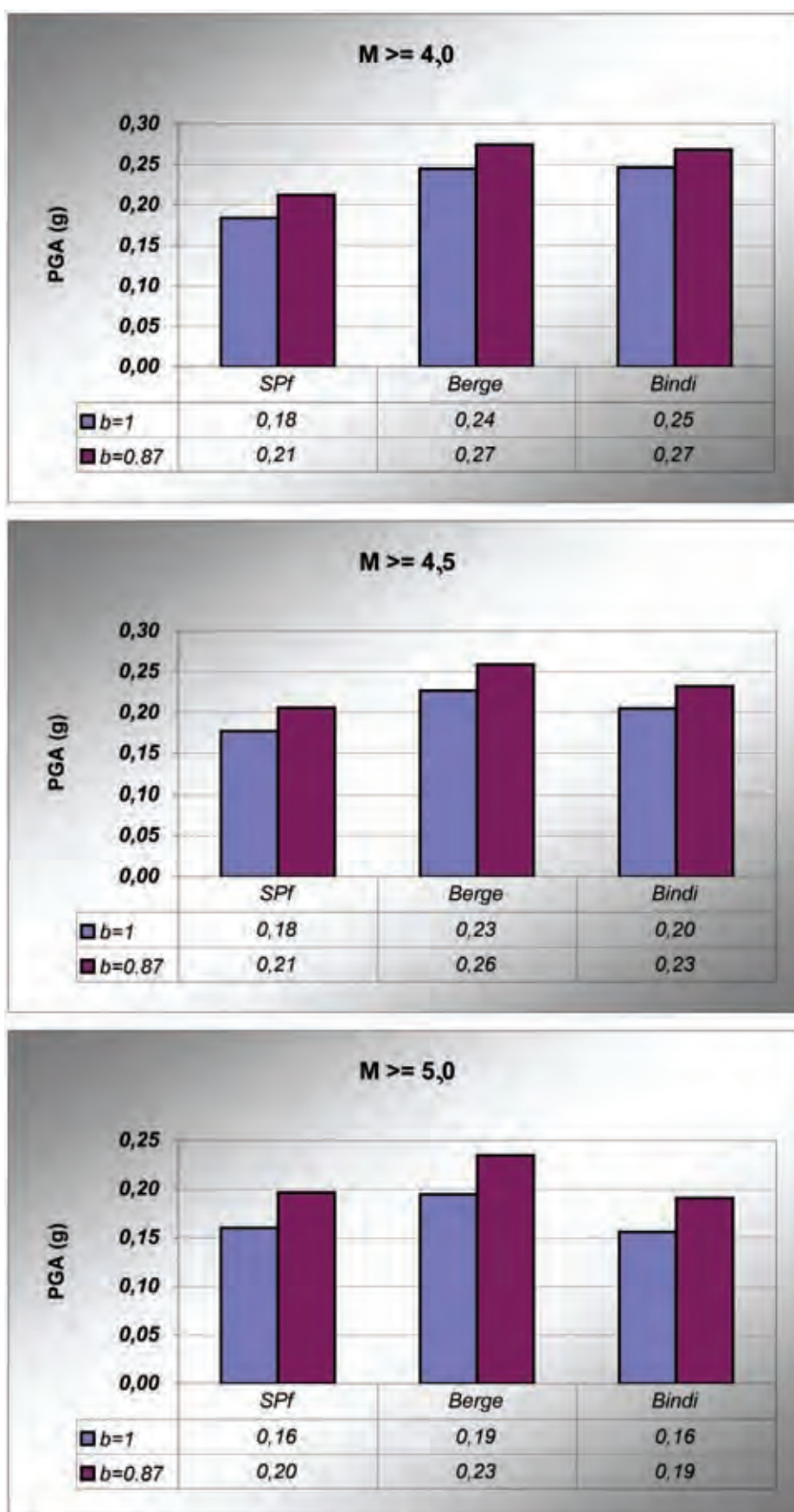
Vpliv razmerja med velikimi in majhnimi potresi (parametra b)

Vrednost parametra b ima zelo velik vpliv na izračun potresne nevarnosti. Izračun za Ljubljano z uporabo treh modelov pojemanja je pokazal, da se vrednost PGA za povratno dobo 475 let zmanjša za okrog 15 % (slika 5), ko b povečamo iz 0,87 (po katalogu iz leta 2001) na 1,0 (po katalogu iz leta 2009).

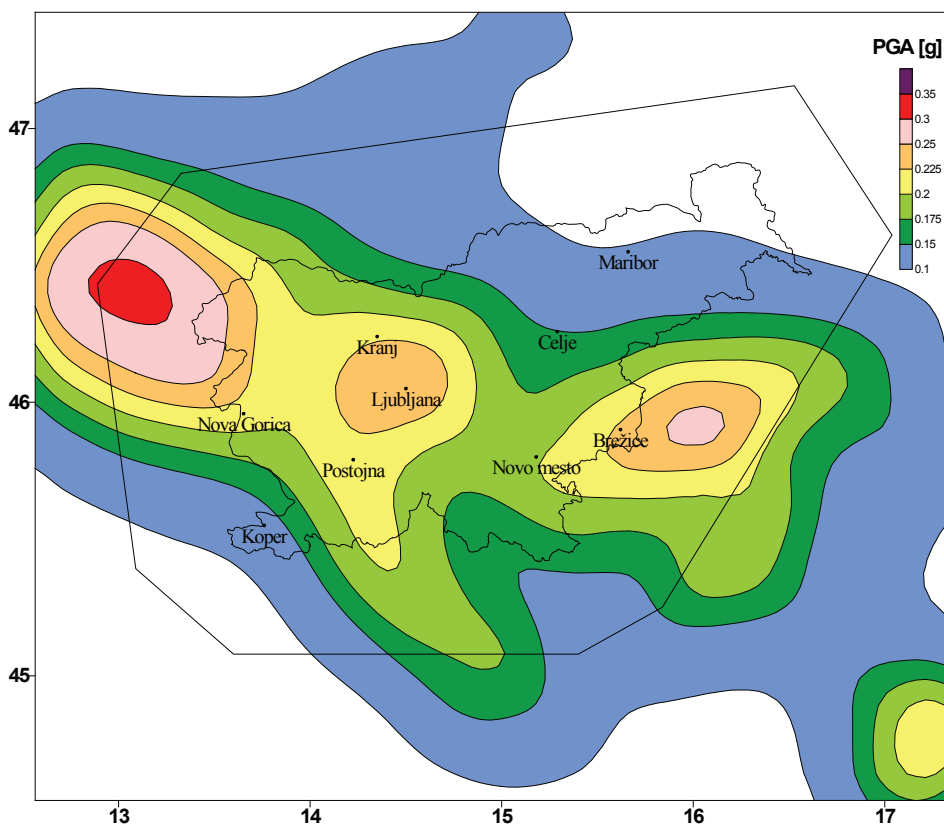
Karte PGA, izračunane z različnimi modeli pojemanja

Magnitudni razpon veljavnosti posameznega modela pojemanja (preglednica 2) vsebuje našo izbrano spodnjo mejo magnitude le pri treh izmed 9 obravnavanih modelov pojemanja: Berge za $M_s \geq 4,0$ ter Bommer in A96 za $M_w \geq 4,5$. Karte teh treh modelov so na slikah 6–8, njihovo povprečje pa je na sliki 9. Vrednosti povprečja teh treh modelov so okrog 30 % večje kot vrednosti PGA na uradni karti potresne nevarnosti.

Za primerjavo so prikazane še karte PGA drugih modelov pojemanja, in sicer za najmanjšo še veljavno magnitudo posameznega modela (slike 10–14), čeprav je le-ta večja kot naša izbrana spodnja meja. Na vseh slikah je prikazano povprečje petih različic porazdelitev preteklih nadžarišč. Karte modela BfJ ne prikazujemo, ker ima model najmanjšo veljavno magnitudo 5,5, kar ne omogoča smiselnega izračuna potresne nevarnosti Slovenije za običajne zgradbe.

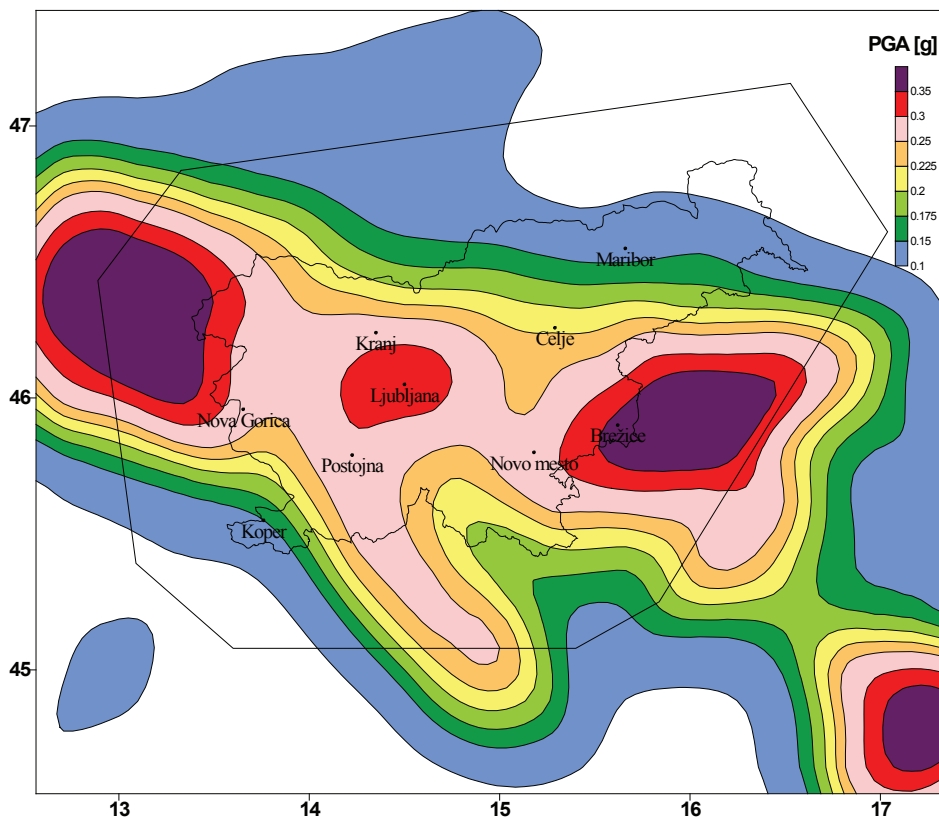


Slika 5. Vpliv parametra b na PGA v Ljubljani za različne spodnje meje magnitude M_s .
Figure 5. Impact of b -value on PGA at Ljubljana for different lower bound magnitude M_s .



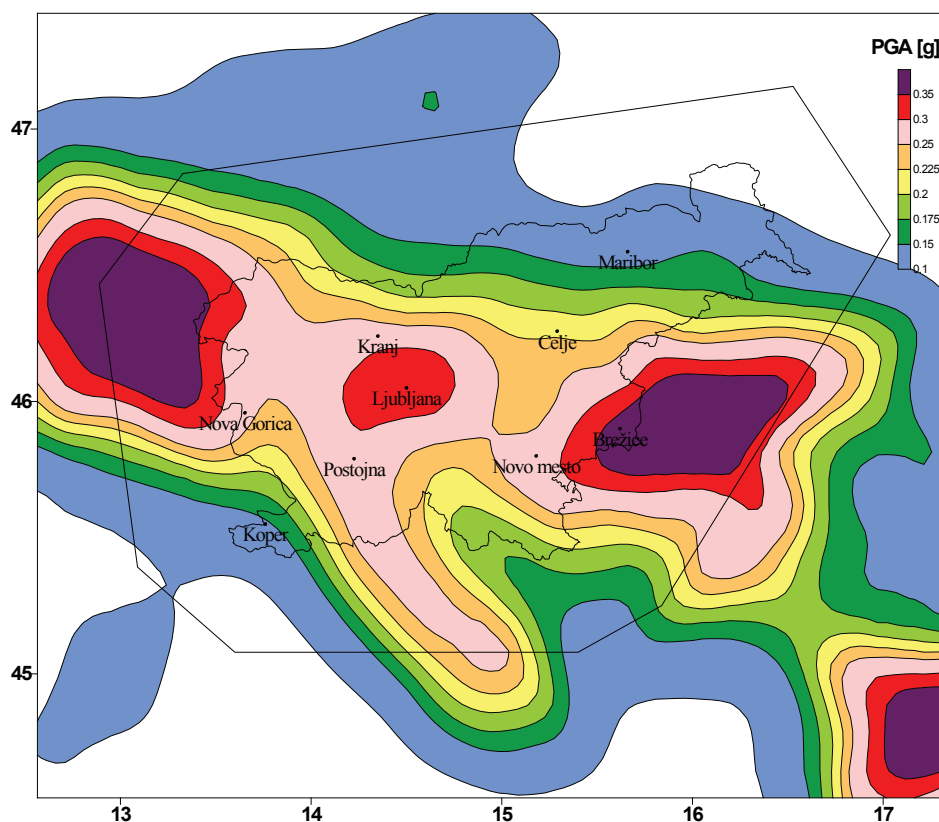
Slika 6. Karta PGA za model pojemanja Berge, $M_s \geq 4,0$.

Figure 6. PGA map for the Berge model, $M_s \geq 4,0$.



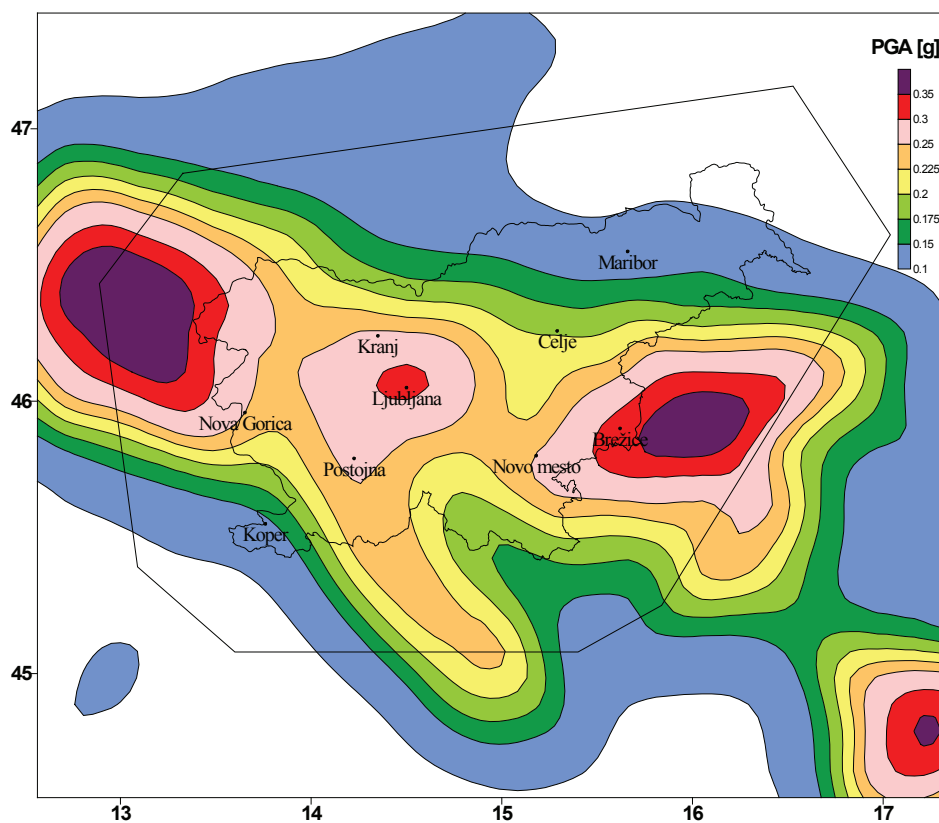
Slika 7. Karta PGA za model pojemanja Bommer, $M_w \geq 4,5$.

Figure 7. PGA map for the Bommer model, $M_w \geq 4,5$.



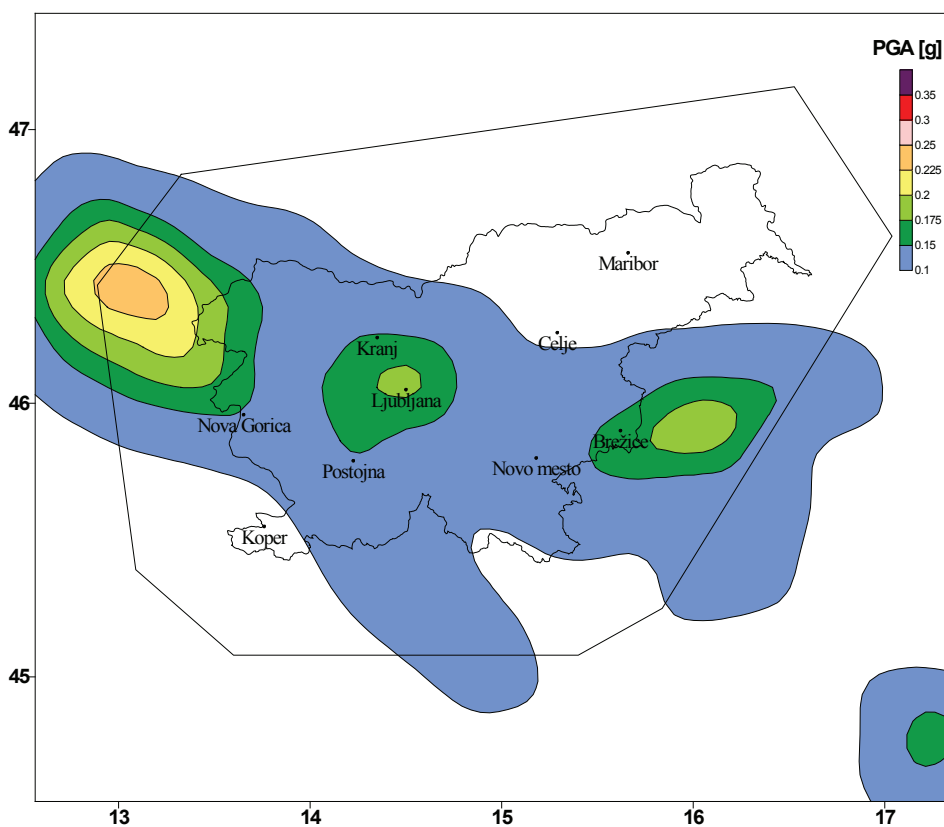
Slika 8. Karta PGA za model pojemanja A96, $M_w \geq 4,5$.

Figure 8. PGA map for A96 model, $M_w \geq 4,5$.



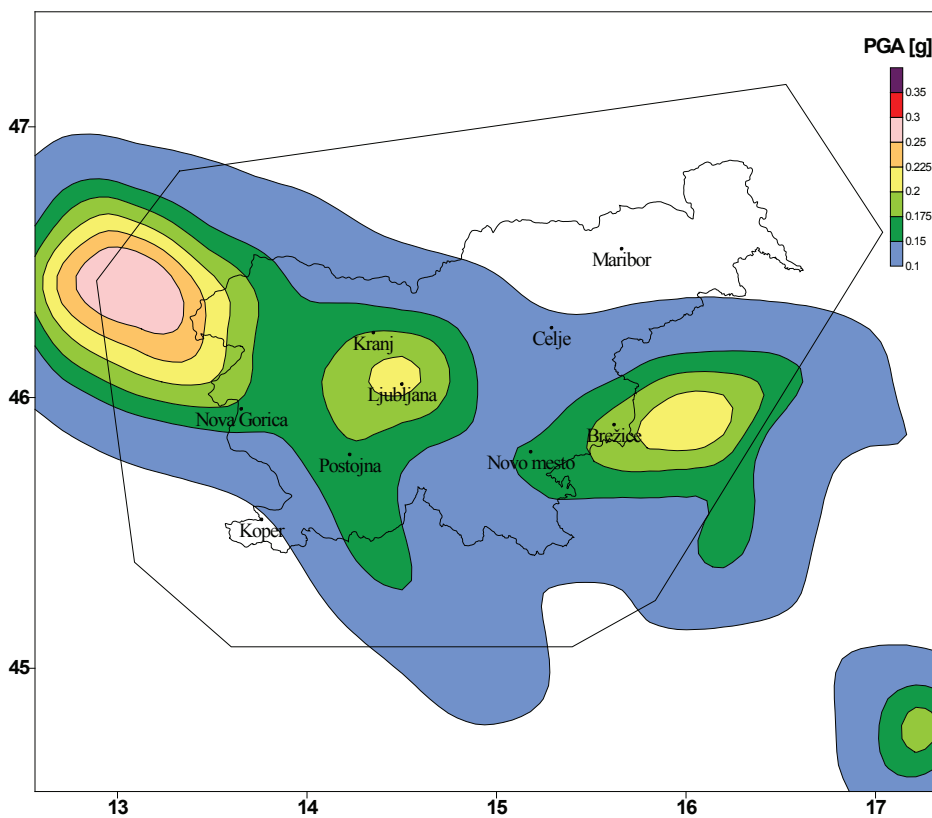
Slika 9. Povprečna karta PGA izbranih modelov pojemanja (Berge, Bommer in A96).

Figure 9. Average PGA map of the three selected GMPEs (Berge, Bommer and A96).



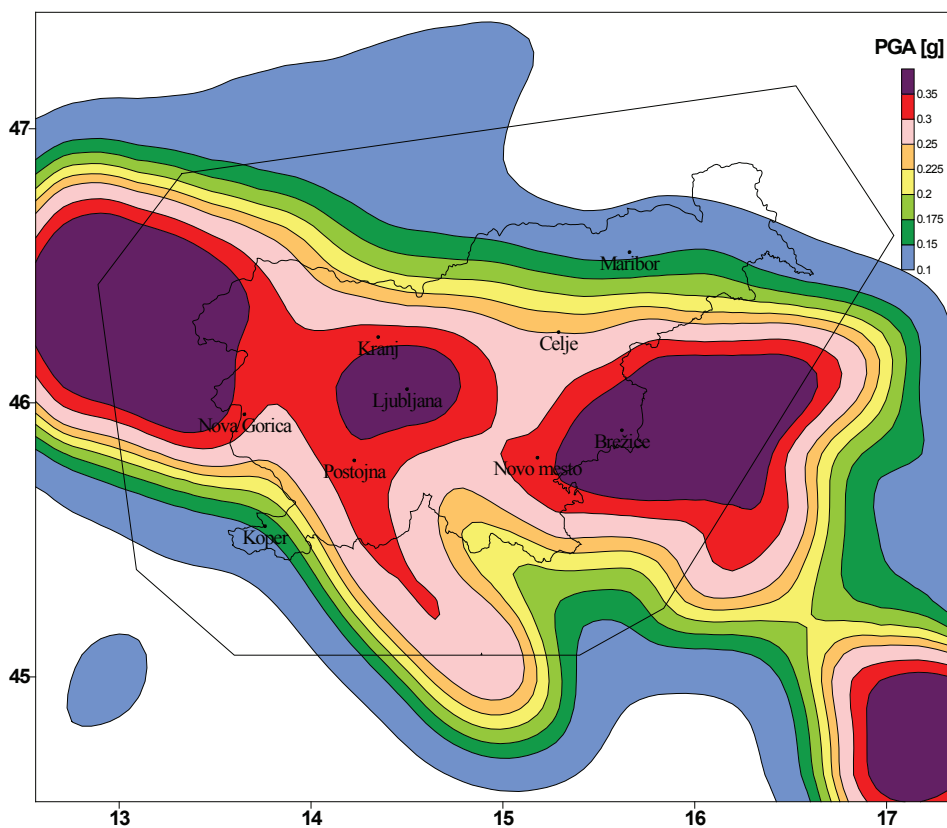
Slika 10. Karta PGA za model pojemanja SPf, $M_s \geq 4,5$.

Figure 10. PGA map for the SPf model, $M_s \geq 4,5$.



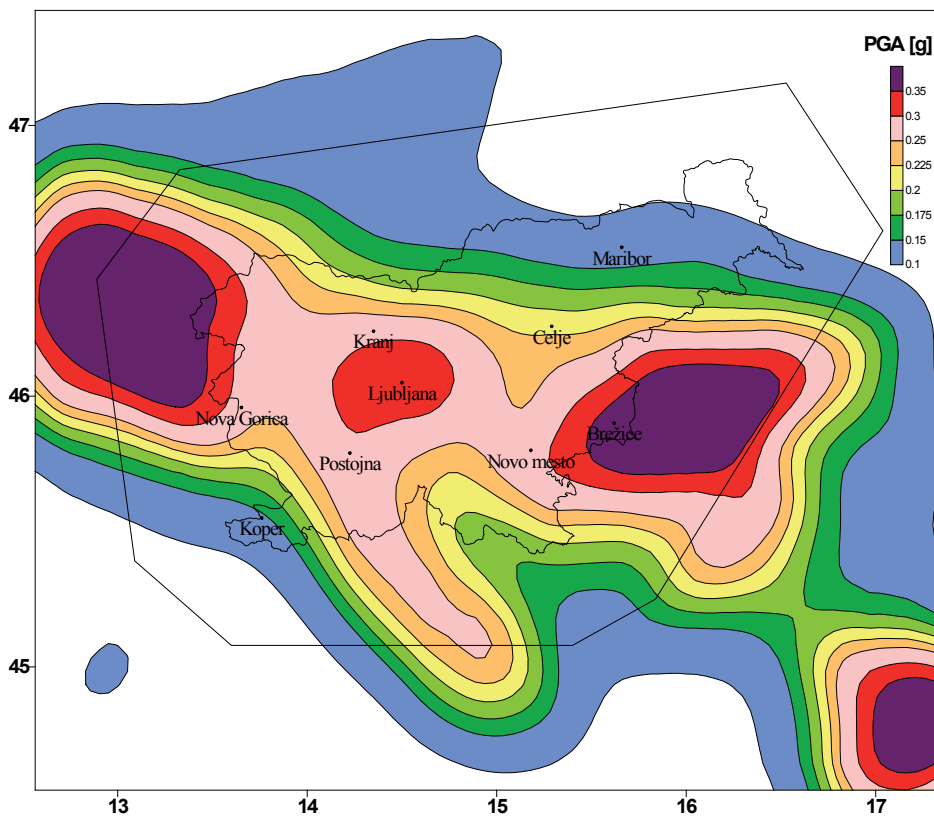
Slika 11. Karta PGA za model pojemanja Bindi, $M_s \geq 4,5$.

Figure 11. PGA map for the Bindi model, $M_s \geq 4,5$.



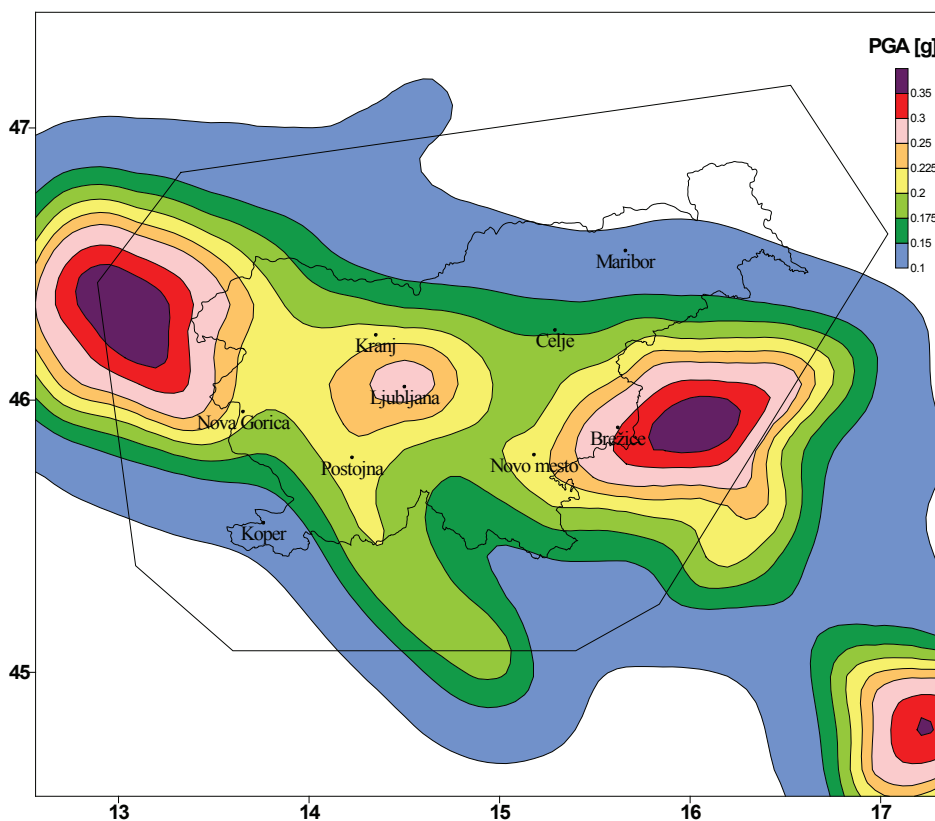
Slika 12. Karta PGA za model pojemanja A05, $M_w \geq 5,0$.

Figure 12. PGA map for the A05 model, $M_w \geq 5,0$.



Slika 13. Karta PGA za model pojemanja Akkar, $M_w \geq 5,0$.

Figure 13. PGA map for the Akkar model, $M_w \geq 5,0$.



Slika 14. Karta PGA za model pojemanja BA, $M_w \geq 5,0$.

Figure 14. PGA map for the BA model, $M_w \geq 5,0$.

Zaključek

Na področju ocenjevanja potresne nevarnosti sta bistveni novosti v zadnjih petih letih nova zakonodaja o potresno odporni gradnji (Slovenski standard Evrokod 8 - EC8) ter številni novi modeli pojemanja.

V skladu s standardom EC8, ki je v Sloveniji začel veljati ob začetku leta 2008, je potresna nevarnost opredeljena z vršnim (največjim, maksimalnim) pospeškom tal PGA na trdnih tleh za povratno dobo 475 let. Tem pogojem ustreza karta projektnega pospeška tal iz leta 2001, ki smo jo v tem prispevku preverjali.

Novi modeli pojemanja dajejo predvsem na območjih z nizko in srednjo potresno aktivnostjo precej večje vrednosti PGA kot doslej poznani modeli. Razlog je predvsem v veliki vrednosti standardnega odklona modela pojemanja, kar (po našem mnenju pretirano) poudarja vpliv nizkih magnitud.

Ugotovili smo, da imata na izračunano oceno potresne nevarnosti zelo velik vpliv tudi parameter b in spodnja meja magnitude. Na vsem ozemlju Slovenije smo izračunali enotno vrednost $b = 1$, ki ustreza prvemu celovitemu podkatalogu (od leta 1880 naprej). Glede na poškodbe objektov pri preteklih potresih smo za spodnjo mejo magnitude izbrali $M_s = 4,0$ oz. $M_w = 4,5$. V skladu s tako določeno spodnjo mejo magnitude so za Slovenijo ustrezni le še trije izmed devetih obravnavanih modelov pojemanja: Berge-Thierry in drugi (2003) za $M_s \geq 4,0$, Bommer in drugi (2007) ter Ambraseys in drugi (1996) za $M_w \geq 4,5$. Glede na uradno karto potresne nevarnosti dajo ti trije modeli v povprečju za 30 % večje vrednosti PGA, kljub temu, da so vrednosti na uradni karti zaokrožene navzgor.

Mnenja svetovne stroke glede novih modelov pojemanja so še nedorečena in neenotna, zato zaenkrat ohranjamo dosedanjo uradno karto potresne nevarnosti. Poleg tega smo šele leta 2008 uradno uveljavljali standard EC8, ki tako ali tako zahteva bistveno strožja merila za potresno odporno gradnjo.

Zahvala

Zahvaljujem se Branki Mladenović za pomoč pri izračunih potresne nevarnosti s programom OHAZ in Poloni Zupančič za izračun razmerja med karto z novimi modeli pojemanja in uradno karto potresne nevarnosti.

Literatura

- Akkar, S., Bommer, J. J., 2007. Prediction of elastic displacement response spectra in Europe and the Middle East, *Earthquake Engineering & Structural Dynamics*, 36(10), 1275-1301, doi: 10.1002/eqe.679.
- Ambraseys, N. N., Simpson, K. A., Bommer, J. J., 1996. Prediction of horizontal response spectra in Europe. *Earthquake Engineering and Structural Dynamics*, 25(4), 371-400.
- Ambraseys N.N., Douglas J., Sarma S.K., Smit P.M., 2005. Equations for the Estimation of Strong Ground Motions from Shallow Crustal Earthquakes Using Data from Europe and the Middle East: Horizontal Peak Ground Acceleration and Spectral Acceleration. *Bulletin of Earthquake Engineering*, 3(1), 1-53.
- Berge-Thierry, C., Cotton, F., Scotti, O., Griot-Pommer, D.-A., Fukushima, Y., 2003. New empirical response spectral attenuation laws for moderate European earthquakes. *Journal of Earthquake Engineering*, 7(2), 193-222.
- Bindi D., Luzi L., Pacor F., Sabetta F., Massa M., 2009. Towards a new reference ground motion prediction equation for Italy: update of the Sabetta-Pugliese (1996), *Bull. Earthquake Eng*, DOI 10.1007/s10518-009-9107-8.
- Bommer J.J., Stafford P.J., Alarcon J.E, Akkar S., 2007. The Influence of Magnitude Range on Empirical Ground-Motion Prediction, *Bull. Seism. Soc. Am*, Vol.97, No.6, str. 2152-2170.
- Boore, D. M., Atkinson, G. M., 2008. Ground-motion prediction equations for the average horizontal component of PGA, PGV, and 5%-damped PSA at spectral periods between 0.01s and 10.0s, *Earthquake Spectra*, 24(1), 99-138. DOI: 10.1193/1.2830434.
- Boore, D. M., Joyner, W. B., Fumal, T. E., 1997. Equations for estimating horizontal response spectra and peak acceleration from western North American earthquakes: A summary of recent work, *Seismological Research Letters*, vol. 68, no. 1, pp. 128-153.
- Douglas, J., Auclair, S. with the collaboration of Baumont, D., Berge-Thierry, C., Bonilla, L. F., Fajfar, P., Scotti, O., 2008. Selection of ground-motion prediction equations and determination of weights for logic tree for NPP Krško II, BRGM/RC-56092-FR, 91 pp., 31 ill., 2 appendices.
- EC8 EN, 2004. Eurocode 8: Design of structures for earthquake resistance. Part 1: General rules, Seismic actions and rules for buildings. European Standard, EN 1998-1 CEN.
- Fajfar, P., Isakovič, T., Peruš, I., 2008. Uvajanje standarda Evrokod 8 v Sloveniji, Univerza Ljubljana, Fakulteta za gradbeništvo in geodezijo, Inštitut za konstrukcije, potresno inženirstvo in računalništvo, Ljubljana.
- Frankel, A., 1995. Mapping seismic hazard in the Central and Eastern United States, *Seism. Res. Lett.* 66, št. 4, 8-21.
- Frankel, A., Mueller, C., Barnhard, T., Leyendecker, E., Wesson, R., Harmsen, S., Klein, F., Perkins, D., Dickamn, N., Hanson, S., Hopper, M., 2000. USGS national seismic hazard maps, *Earthquake spectra* 16, 1-20.
- Godec, M., Šket Motnikar, B., 2004. Sektor za inženirsko seizmologijo in potresno inženirstvo: Karte potresne nevarnosti, ARSO, Ljubljana, interni dokument.
- Gomberg, J., 1991. Seismicity and Detection/Location Threshold in the Southern Great Basin Seismic Network, *J. Geophys. Res.*, Vol. 96(B10), 16401-16414.
- Keilis-Borok, V.I., Knopoff, L., Rotvain, I.M., 1980. Bursts of aftershocks, long-term precursors of strong earthquakes, *Nature*.
- Knopoff, L., Gardner, J. K., 1972. Higher Seismic Activity During Local Night on the Raw Worldwide Earthquake Catalogue, *Geophys. J. R. astr. Soc.* 28, 311-313.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2001. Nova karta potresne nevarnosti - projektni pospešek tal namesto intenzitete. *Gradbeni vestnik* 50 (2001) str. 140-149.
- Lapajne, J., Šket Motnikar, B., Zupančič, P., 2003. Probabilistic seismic hazard assessment methodology for distributed Seismicity, *Bull. Seism. Soc. Am.* 93, 2502-2515.

- Petersen, M. D., Frankel, A.D., Harmsen, S.c., Mueller, C.S., Haller, K.M., Wheeler, R. L., Wesson, R.L., Zeng, Y., Boyd, O.S., Perkins, D.M., Luco, N., Field, E.H., Wills, C.J, Rukstales, K.S., 2008. Documentation for the 2008 Update of the United States National Seismic Hazard Maps, Open-File Report 2008-1128, U.S. Department of the Interior in U.S. Geological Survey, Virginia.
- Ribarič, M., 1987. Seizmološka karta SFRJ (za območje SR Slovenije), Seizmološki zavod SR Slovenije, Ljubljana.
- Sabetta, F., Pugliese, A., 1996. Estimation of response spectra and simulation of nonstationary earthquake ground motions, *Bull. Seism. Soc. Am.* 86, 337-352.
- Scherbaum, F., Bommer, J.J., Cotton, F., Bungum, H., Sabetta, F., 2006. Ground-motion prediction in PSHA: A Post-PEGASOS Perspective, *Proceedings of the First European Conference on Earthquake Engineering and Seismology* (a joint event of the 13th ECEE and 30th General Assembly of the ESC), Geneva, Switzerland.
- SIST EN 1998-1:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe, slovenski standard, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- SIST EN 1998-1:2005/oA101:2005 - Evrokod 8 - Projektiranje potresnoodpornih konstrukcij - 1. del: Splošna pravila, potresni vplivi in pravila za stavbe - Nacionalni dodatek, Slovenski inštitut za standardizacijo, Ljubljana.
- UL RS, št. 101/2005, Pravilnik o mehanski odpornosti in stabilnosti objektov.
- UL SFRJ 31/1981, 49/1982, 29/1983, 21/1988 in 52/1990, Pravilnik o tehničnih normativih za graditev objektov visoke gradnje na seizmičnih območjih s spremembami in dopolnitvami.
- Šket Motnikar, B., 2004. Ponovna ocean potresne nevarnosti v Posočju po potresu 12. 7. 2004, ARSO, Ljubljana, interni dokument.
- Šket Motnikar, B., Lapajne, J. K., Zupančič, P., Zabukovec, B., 2000. Application of the spatially smoothed seismicity approach for Slovenia. *Proceedings of the Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping*, Poljče, Slovenia, May 22-24, 125-133.
- Šket Motnikar, B., Zupančič, P., Kuka, N., Zabukovec, B., 2007. OHAZ version 6.0, Computer Program for Seismic Hazard Calculation, USER MANUAL, Ministry of the Environment and Spatial Planning, Environmental Agency of the Republic of Slovenia Seismology and Geology Office (ARSO) and Academy of Sciences of Albania Institute of Seismology (ISA), Ljubljana.
- Weichert, D. H., 1980. Estimation of the earthquake recurrence parameters for unequal observation periods for different magnitudes, *Bull. Seism. Soc. Am.*, Vol. 70(4), 1337-1346.
- Yamada, M., Mori, J., Heaton, T., 2009. The Slapdown Phase in High-acceleration Records of Large Earthquakes, *Seism. Res. Letters*, Vol. 80, Number 4, 559-564.
- Zabukovec, B., 2000. OHAZ - A computer program for spatially smoothed seismicity approach. *Proceedings of the Workshop Seismicity modeling in seismic hazard mapping*, Poljče, Slovenia, May 22-24, 135-140.
- Živčič, M., 2009. Katalog potresov, interno poročilo, ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana. Projekt Pegasos, vir na spletu: https://portal.swissnuclear.ch/index_en.html

MOČNEJŠI POTRESI PO SVETU LETA 2009 WORLD'S LARGEST EARTHQUAKE IN 2009

Tamara Jesenko

Povzetek

Vsako leto zatrese Zemljo več sto tisoč potresov, ki presegajo magnitudo 2,0 in katerih žarišča so predvsem na stikih večjih tektonskih plošč. Potresno najdejavnejši območji sta obtihoceanski in sredozemsko-himalajski pas, ki vključuje tudi naše kraje. Večina potresov je šibkih, ne povzročajo gmotne škode in ne zahtevajo človeških življenj, med njimi pa je vsako leto nekaj deset takih, ki povzročijo veliko uničenje in zahtevajo smrtne žrtve. Leta 2009 je 78 potresov doseglo ali preseglo magnitudo 6,5, povzročilo večjo gmotno škodo ali zahtevalo človeška življenja. Potres z največ smrtnimi žrtvami se je zgodil 30. septembra na južni Sumatri v Indoneziji. V njem je umrlo najmanj 1117 ljudi. 6. aprila je potres z navorno magnitudo 6,3 stresel italijansko srednjeveško mesto L'Aquila in zahteval 305 življenj. Največ energije se je sprostilo pri potresu 29. septembra na otočju Samoa. Imel je navorno magnitudo 8,1 in je zahteval 197 človeških življenj. Najgloblji potres je leta 2009 stresel območje Bandskega morja. Zgodil se je 28. avgusta in je imel žarišče v globini 642 km ter navorno magnitudo 6,9. Potresi so leta 2009 zahtevali vsaj 1790 žrtev.

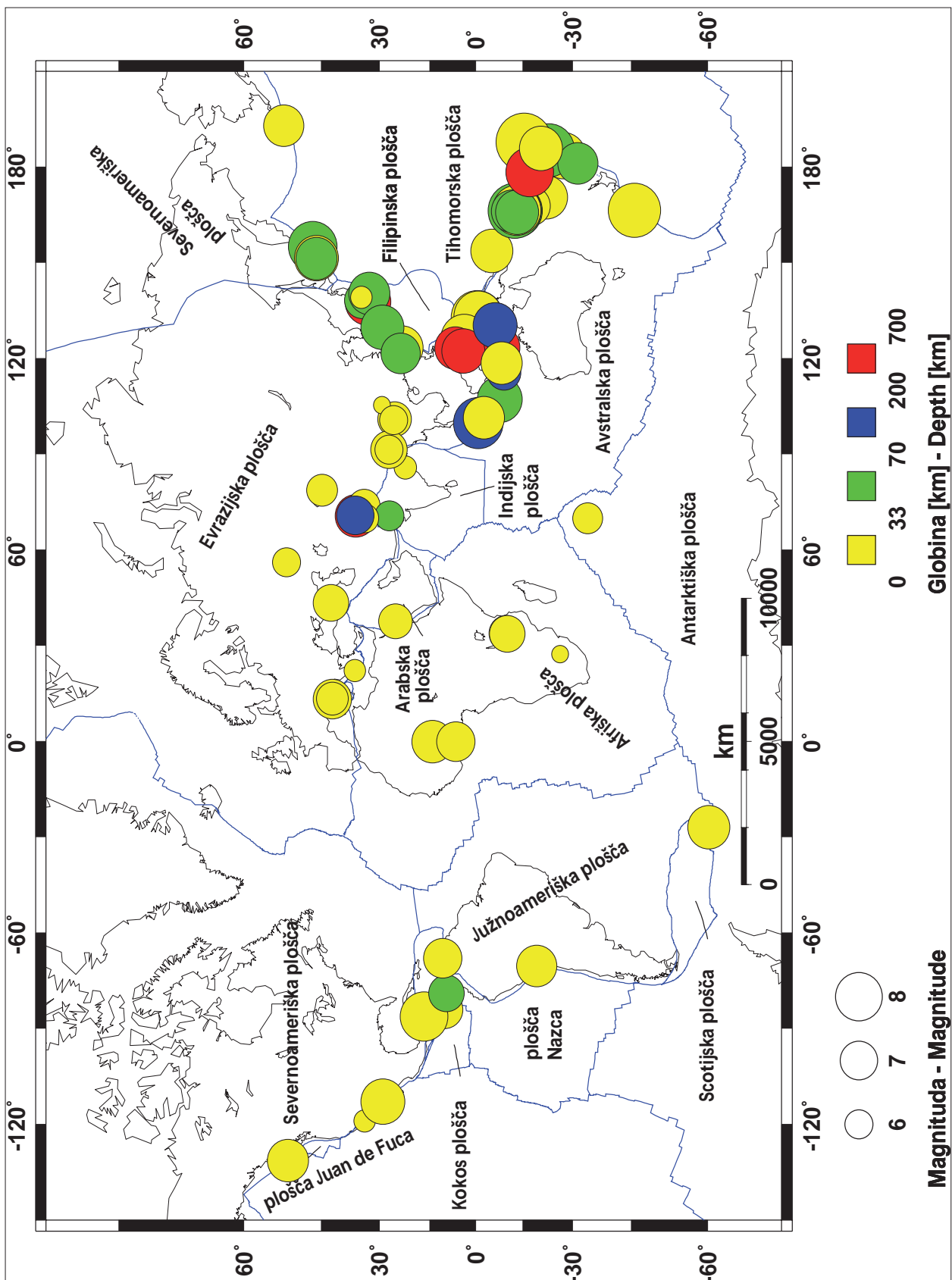
Abstract

Every year several hundred thousand earthquakes with magnitudes above 2.0, mostly originating at the tectonic plate boundaries, shake the Earth. Two well-defined seismic belts, the circum-Pacific and the Mediterranean-Himalayan belt, are the places in the world where the earthquakes occur most frequently, the latter including the region of Slovenia. Most earthquakes are weak, do not cause any damage and do not claim human lives. Most, but not all: every year there are several earthquakes which result in extreme destruction. There were 78 earthquakes in year 2009 that either reached a magnitude of 6.5 or more, caused major damage to buildings and other structures, or even claimed human lives. The most devastating earthquake in 2009 happened on 30 September on Southern Sumatra, Indonesia, where more than 1100 people were killed. A magnitude 6.3 earthquake hit the medieval city of L'Aquila in Central Italy on 6 April, killing 305 people. The 29 September earthquake in the Samoa Islands region ranks first in terms of released energy, with a moment magnitude of 8.1; it claimed 197 human lives. The deepest earthquake happened on 28 August in the Banda Sea with a hypocentre 642 km below the surface and the moment magnitude of 6.9. In 2009, earthquakes claimed more than 1790 human lives.

Potresi in tektonika plošč

Zemljina trdna lupina, debela okoli 100 kilometrov, se imenuje litosfera in je sestavljena iz dvanajstih večjih in več manjših tektonskih plošč (slika 1). Najpomembnejše plošče so Tihomorska, Severnoameriška, Južnoameriška, Evrazijska, Afriška, Avstralska in Antarktična. Za svetovno potresno dejavnost so pomembne tudi številne manjše plošče. Tektonske plošče se zaradi konvekcijskih tokov v astenosferi, viskozni plasti pod litosfero, stalno počasi premikajo. Med seboj se lahko primikajo (primične ali konvergentne meje), razmikajo (razmične ali divergentne meje) ali drsijo druga ob drugi (strižne ali transformne meje plošč). Severnoameriška in Južnoameriška plošča se oddaljujeta od Evrazijske in Afriške plošče. Loči ju razmična meja, ki se kaže v srednjeatlantskem grebenu, za katerega je značilna povečana potresna dejavnost. Na nasprotni strani se Evrazijska plošča primika k Severnoameriški in drsi prek Filipinske, pod katero se podriva Tihomorska plošča. Ta se podriva pod več manjših plošč, ki ležijo med Severnoameriško in Filipinsko ploščo. Na območju Kalifornije drsita Tihomorska in Severnoameriška plošča druga ob drugi (znana so številna potresna žarišča). Med Tihomorsko in Južnoameriško ploščo je plošča Nazca.

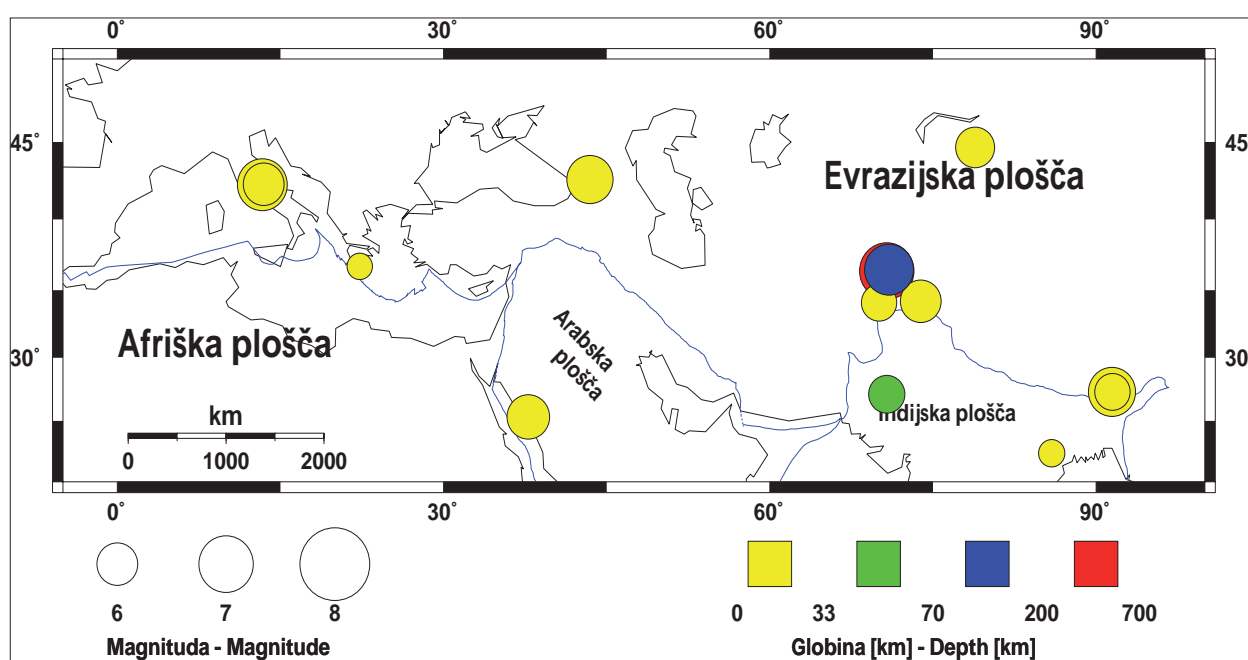
Omenjena stičišča plošč so med potresno najdejavnejšimi območji na Zemlji. Med Afriško in Tihomorsko ploščo je Avstralska plošča, ki se odmika od Antarktične. Več manjših plošč je med



Slika 1. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2009 na Zemlji, njihove globine in magnitudo; velikost krogov kaže potresno magnitudo, barva pa žariščno globino. Označene so tudi glavne tektonske plošče.

Figure 1. Distribution of the most powerful earthquakes in 2009, their depths and magnitudes. The size of the circle indicates the magnitude and the colour designates the focal depth. Main tectonic plates are also shown.

Evrazijsko ploščo na severu in Afriško na jugu. Od vzhoda proti zahodu so Indijska, Arabska in Turško-egejska plošča ter manjša Jadranska plošča, ki na slikah ni označena, vendar je za geološki razvoj slovenskega ozemlja zelo pomembna. Gibanja celinskih in oceanskih plošč povzročajo potresno dejavnost, ki jo ponekod spremljajo ognjeni izbruhi. Običajno so potresi edini znanilci spreminjanja in nastajanja novih geoloških formacij. Leta 2009 so medsebojni premiki plošč povzročili veliko potresov od Sredozemskega morja do Tihega oceana. Slika 1 kaže povezanost tektonike plošč s potresno dejavnostjo, saj so vsi močnejši potresi nastali na stikih tektonskih plošč. Narisani so le močnejši svetovni potresi. Če bi narisali nadžarišča (epicentre) vseh potresov, bi še bolj videli, da potresi nastajajo predvsem na mejah med posameznimi ploščami. Pravzaprav je prav porazdelitev potresov razkrila potek mej ali stikov med ploščami. Na sliki 2 so narisani najmočnejši potresi leta 2009 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu.



Slika 2. Porazdelitev najmočnejših potresov leta 2009 v sredozemsko-himalajskem potresnem pasu, ki je za obtiho-morskim drugo najdejavnejše potresno območje na Zemlji.

Figure 2. Distribution of the most powerful earthquakes in 2009 in the Mediterranean-Himalayan belt, which is, after the circum-Pacific belt, subject to the most frequent earthquake shocks.

Pregled najmočnejših potresov

V preglednici 1 so podatki o najmočnejših potresih leta 2009 (NEIC, 2009; ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2009). Našteti so le tisti, ki so dosegli ali presegli navorno magnitudo 6,5, ter tisti, ki so povzročili večjo gmotno škodo ali zahtevali človeška življenja. Vrednosti za M_b in M_s so srednje vrednosti, določene iz podatkov potresnih opazovalnic, ki so potres zapisale. Magnitude M_b , M_s in M_w se med seboj razlikujejo po območju veljavnosti, ki ga omejujejo oddaljenost in globina žarišča ter nihajni čas pri največji amplitudi. Magnituda m_b (angl. body wave magnitude) je določena na podlagi največjega odklona na zapisu navpične komponente telesnega valovanja v prvih 20 sekundah po prihodu vzdolžnega telesnega valovanja. Magnituda M_s (angl. surface wave magnitude) je določena na podlagi navpične komponente dolgoperiodnega površinskega valovanja. To se razvije pri potresih, katerih žarišče ni bilo globlje kakor približno 50 km. M_w je navorna magnituda, ki velja tudi za najmočnejše potrese in je določena s potresnim navorom. Globina potresov je izražena v kilometrih, preglednica pa je zaključena z imenom širšega nadžariščnega območja potresa. Svet je namreč za seizmološke potrebe razdeljen na 729 Flinn-Engdahlovih geometrijskih območij (Flinn-Engdahl regions, 2010).

V letu 2009 je imel en potres navorno magnitudo (M_w) večjo od 8,0, šestnajst pa med 7,0 in 7,9. Vsaj 21 potresov je zahtevalo človeška življenja, skupno vsaj 1790 žrtev. V nadaljevanju sta natančneje opisana najmočnejši potres v letu 2009 in potres, ki je zahteval največ žrtev. Evropo je pretresel potres, ki je prizadel italijansko srednjeveško mesto L'Aquilo. Podrobneje je opisan v samostojnem prispevku (Cecić, Godec, 2010), tu so nanizani le njegovi osnovni podatki. Na koncu je kot zanimivost dodan tudi zapis jedrskega poskusa v Severni Koreji.

Preglednica 1. Seznam potresov leta 2009, katerih magnituda je bila enaka ali večja od 6,5; dodani so potresi, katerih magnituda je bila sicer manjša, a so povzročili večjo gnotno škodo, ranjene ali smrtne žrtve; z zvezdico so označeni potresi, opisani v besedilu.

Table 1. List of the earthquakes in 2009 with magnitudes 6.5 and . Earthquakes with magnitudes below 6.5, which caused significant material damage, injuries or victims, are included. The earthquakes described in the text are marked with a star.

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m_b	M_s	M_w	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m_b	M_s	M_w	km		
3.1.	19:43	0,41 J	132,88 V	6,6	7,5	7,7	17	5	blizu severne obale Papue, Indonezija
3.1.	20:23	36,42 S	70,74 V	5,8		6,6	205		Hindukuš, Afganistan
3.1.	22:33	0,68 J	133,30 V	6,7	7,4	7,4	23		blizu severne obale Papue, Indonezija
4.1.	5:10	36,73 S	22,28 V	4,3		3,9	10	1	južna Grčija
8.1.	19:21	10,19 S	84,16 Z	5,7	6,0	6,1	14	40	Kostarika
15.1.	7:27	22,35 J	170,65 V	5,8	6,5	6,7	27		jugovzhodno od otočja Loyalty
15.1.	17:49	46,84 S	155,19 V	6,9	7,5	7,4	36		vzhodno od Kurilov
19.1.	3:35	3,89 S	126,40 V	5,7	6,4	6,5	12		jugovzhodno od otočja Loyalty
11.2.	17:34	3,88 S	126,39 V	6,8	7,2	7,2	20		Kepulauan Talaud, Indonezija
18.2.	21:53	27,42 J	176,33 Z	6,8	7,2	7,0	25		otočje Kermadec
20.2.	3:48	34,24 S	73,87 V	5,4		5,5	10		Pakistan
6.3.	10:50	80,26 S	1,80 Z	6,6	6,5	6,5	9		severno od Svalbarda
19.3.	18:17	23,05 J	174,67 Z			7,6	34		otočje Tonga
26.3.	4:44	22,40 S	85,90 V	4,1			10		Jharkhand, Indija
6.4.	1:32	42,33 S	13,33 V	5,9	6,2	6,3	9	295	osrednja Italija*
7.4.	4:23	46,07 S	151,52 V	6,5	6,8	6,9	31		Kurilsko otočje
7.4.	17:47	42,34 S	13,45 V	5,4	5,4	5,5	14	1	osrednja Italija
9.4.	1:46	27,13 S	70,74 V	5,2		5,1	44		meja Indija - Pakistan
16.4.	14:57	60,18 J	26,85 Z	6,2	6,8	6,7	20		območje otočja South Sandwich
16.4.	21:27	34,19 J	70,06 V	5,4		5,2	6	19	Hindukuš, Afganistan
16.4.	23:42	34,12 S	70,05 V	5,1			7		Hindukuš, Afganistan
18.4.	19:17	46,02 S	151,41 V	6,3	6,3	6,6	41		Kurilsko otočje
2.5.	1:11	34,07 S	118,88 Z	4,3			14		širše območje Los Angelesa, Kalifornija
16.5.	0:53	31,51 J	178,80 Z	6,1		6,5	55		otočje Kermadec

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m_b	M_s	M_w	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m_b	M_s	M_w	km		
19.5.	17:35	25,34 S	37,78 V	5,7	5,3	5,7	2		zahodna Saudova Arabija
28.5.	8:24	16,73 S	86,22 Z	6,7	7,2	7,3	10	7	blizu obale Hondurasa
29.5.	6:20	17,03 J	168,33 V	5,5	5,5	5,7	13		Vanuatu
2.6.	2:17	17,76 J	167,95 V	5,7	6,2	6,3	15		Vanuatu
13.6.	17:17	44,72 S	78,86 V	5,8	5,1	5,4	15	1	vzhodni Kazahstan
23.6.	14:19	5,16 J	153,78 V	6,3		6,7	15		New Ireland, Papua Nova Gvineja
4.7.	6:49	9,59 S	78,97 Z	6,0	5,5	6,0	38		Panama
9.7.	11:19	25,64 S	101,08 V	5,5	5,6	5,7	7	1	Junan, Kitajska
15.7.	9:22	45,76 J	166,56 V	6,5	7,7	7,7	12		ob zahodni obali Južnega otoka, Nova Zelandija
3.8.	17:59	29,04 S	112,90 Z	6,2		6,9	10		Kalifornijski zaliv
8.8.	13:26	29,36 S	105,44 V	3,7			10	2	meja Sečuan-Chongqing, Kitajska
9.8.	10:55	33,17 S	137,94 V	6,5		7,1	297		blizu južne obale Honšuja, Japonska
10.8.	4:06	11,61 J	166,09 V	5,8	6,3	6,6	35		otočje Santa Cruz
10.8.	19:55	14,10S	92,91 V	6,9	7,6	7,5	35		Andamansko otočje
10.8.	20:07	34,74 S	138,29 V	6,2			40	1	blizu južne obale Honšuja, Japonska
12.8.	22:48	32,82 S	140,40 V	6,2		6,6	53		otočje Izu, Japonska
16.8.	7:38	1,48 J	99,49 V	6,5	6,7	6,7	20		Kepulauan Mentawai, Indonezija
17.8.	0:05	23,50 S	123,50 V	6,2	6,6	6,7	20		jugozahodni del otočja Rjukju, Japonska
28.8.	1:51	7,13 J	123,43 V	6,3		6,9	642		Bandsko morje
30.8.	14:51	15,19 J	172,53 Z	6,4	6,3	6,6	11		otočje Samoa
2.9.	7:55	7,81 J	107,26 V	6,7	7,0	7,0	46	81	Java, Indonezija
7.9.	22:41	42,66 S	43,44 V	5,7	5,8	6,0	15		Gruzija
12.9.	20:06	10,72 S	67,95 Z	6,3	6,4	6,3	10		ob obali Caraboba, Venezuela
18.9.	11:53	6,51S	124,72 V	5,4	5,2	5,7	10		Mindanao, Filipini
18.9.	23:06	9,14 J	115,60 V	6,0		5,7	79		južno od otoka Bali, Indonezija
21.9.	8:53	27,33 S	91,44 V	6,1	6,1	6,1	14	11	Butan
29.9.	17:48	15,49 J	172,10 Z	7,1	8,1	8,1	18	192	otočje Samoa*
30.9.	10:16	0,72 J	99,87 V	7,1		7,5	81	1117	južna Sumatra, Indonezija*
1.10.	1:52	2,51 J	101,49 V	5,9	6,7	6,6	10	3	južna Sumatra, Indonezija
4.10.	10:58	6,78 S	123,38 V	6,3		6,6	620		zaliv Moro, Mindanao, Filipini
7.10.	21:41	4,08 S	122,37 V	6,1		6,8	574		Celebeško morje
7.10.	22:03	13,06 J	166,34 V	6,3	7,3	7,6	45		Vanuatu
7.10.	22:18	12,53 J	166,37 V	6,4		7,8	55		otočje Santa Cruz
7.10.	23:13	13,07 J	166,47 V	6,4	7,2	7,4	29		Vanuatu
8.10.	2:12	11,66 J	166,18 V	5,8		6,6	35		otočje Santa Cruz

datum	čas (UTC)	koordinati		magnituda			globina	število žrtev	območje
	ura:min	širina	dolžina	m_b	M_s	M_w	km		
date	time (UTC)	coordinates		magnitude			depth	number of victims	area
	hh:min	lat	lon	m_b	M_s	M_w	km		
8.10.	8:28	13,29 J	165,95 V	5,7		6,8	35		Vanuatu
13.10.	5:37	52,96 S	167,04 Z	6,0	6,1	6,5	18		otočje Fox, Aleuti, Aljaska
22.10.	19:51	36,52 S	70,95 V	6,1		6,2	186	5	Hindukuš, Afganistan
24.10.	14:40	6,15 J	130,38 V	6,7		6,9	130		Bandsko morje
30.10.	7:03	29,17 S	129,91 V	6,3	6,8	6,8	34		otočje Rjukju, Japonska
1.11.	21:07	25,96 S	100,82 V	5,0			25		Junan, Kitajska
3.11.	23:26	52,33 S	56,20 V	5,1			14		južni Iran
5.11.	9:32	23,72 S	120,78 V	5,6	5,4	5,6	32		Tajvan
8.11.	19:41	8,27 J	118,63 V	6,3	6,5	6,6	33	2	SuMbawa, Indonezija
9.11.	10:44	17,21 J	178,41 V	6,6		7,3	585		Fidži
13.11.	3:05	19,40 J	70,30 Z	6,2	6,4	6,5	27		blizu obale Tarapaca, Čile
17.11.	15:30	52,12 S	131,40 Z	6,0	6,5	6,6	7		Otočje kraljice Charlotte
24.11.	12:47	20,65 J	174,07 Z	6,4	6,8	6,8	18		otočje Tonga
6.12.	21:51	26,41 J	27,49 V	3,5			2	2	Republika Južna Afrika
8.12.	3:08	9,89 J	33,88 V	6,0	5,9	5,9	8	1	Malavi
17.12.	23:45	34,92 S	139,26 V	4,9			7		blizu južne obale Honšuju, Japonska
19.12.	13:02	23,78 S	121,64 V			6,4	49		Tajvan
19.12.	23:19	10,09 J	33,83 V	6,0	6,0	6,0	6	3	Malavi
30.12.	9:57	27,32 S	91,51 V	5,5	5,2		10		Butan

Potres na otočju Samoa

To je bil najmočnejši potres na svetu leta 2009. Njegova navorna magnituda je bila kar 8,1. Zgodil se je 29. septembra ob 17. uri in 48 minut po svetovnem času (UTC) oziroma ob 6. uri in 48 minut po lokalnem času v morju na območju Samoe (180 km južno od Apie). Žarišče je nastalo na stiku dveh velikih tektonskih plošč, Avstralske in Tihomorske plošče, kjer se v podmorskem jarku Tonga Tihomorska plošča proti zahodu podriva pod Avstralsko s hitrostjo 86 mm/leto. Glavnemu potresu je v prvih 48-ih urah sledilo še 40 potresov z navorno magnitudo večjo kot 5,0. Najmočnejši, z navorno magnitudo 6,1, se je zgodil 2. oktobra ob 1. uri in 7 minut po UTC.

Potres je sprožil številne cunamije, ki so povzročili veliko škode in zahtevali človeška življenja na Samoju, Ameriški Samoju in otočju Tonga. Cunamiji so dosegli največjo višino valov 12 metrov pri kraju Poloa, 7 metrov pri mestih Pago Pago in Tula na Ameriški Samoju (slika 3) ter 3 metre pri Niuatoputapuju na Tongi. Zabeležili so jih tudi na Fidžiju, Cookovih otokih, Francoski Polineziji in v Novi Zelandiji (NEIC, 2009).

Potresni valovi so od žarišča do slovenskih potresnih opazovalnic potovali približno 20 minut, na opazovalnici na Črnem Vrhu (CRNS) so jih seizmografi zabeležili ob 18. uri 7 minut in 54 sekund po UTC (slika 4). Več podatkov o lokaciji in inštrumentih nameščenih na opazovalnicah slovenske mreže potresnih opazovalnic je zapisano v članku (Sinčič in drugi, 2010). Žarišče potresa je bilo od slovenskih potresnih opazovalnic oddaljeno približno 149 geografskih stopinj



Slika 3. Poškodbe zaradi cunamija na Ameriški Samoi. (vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tsunami_2009_Pago_Pago.jpg)

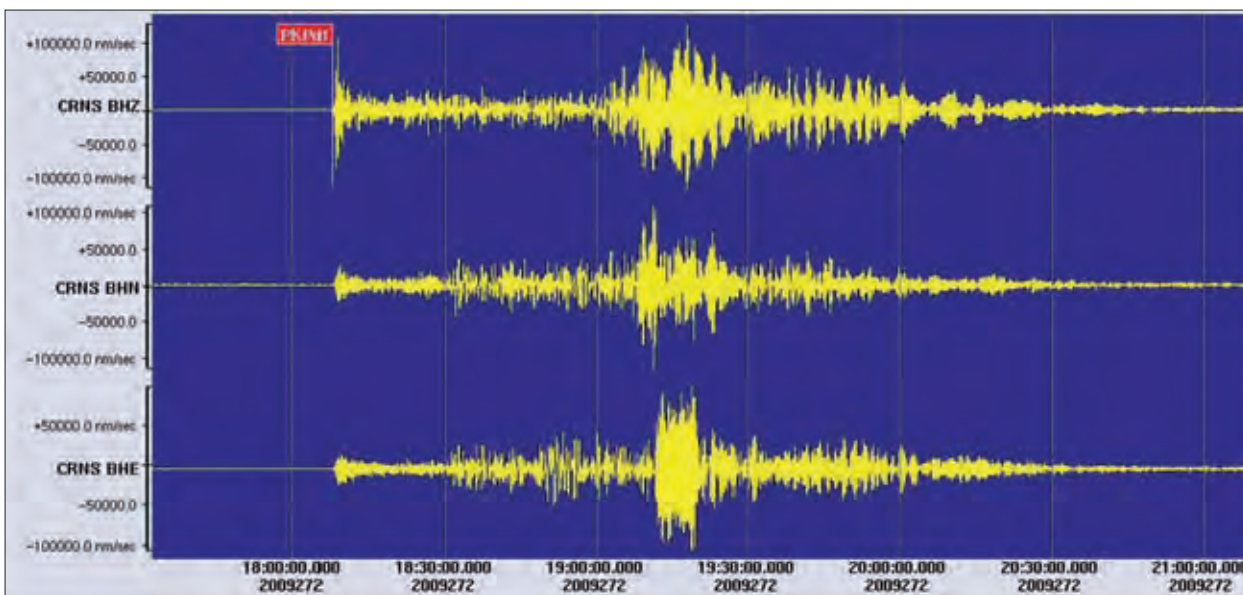
Figure 3. Damage caused by the tsunami in American Samoa. (source: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Tsunami_2009_Pago_Pago.jpg)

($1^\circ \approx 111\text{km}$). Izgled zapisa potresa na posamezni opazovalnici je odvisen od oddaljenosti žarišča potresa od opazovalnice ter njegove globine in magnitude. Za razred oddaljenih potresov oz. teleseizmov, pri katerih je oddaljenost žarišča od opazovalnice večja od 144° , so značilne faze vzdolžnega valovanja, ki je potovalo skozi zunanje in notranje jedro Zemlje (Deterding, Jesenko, 2005). V to družino sodi tudi faza PKP_{df}, ki je prva pripotovala do opazovalnice CRNS in je označena na seizmogramu na sliki 4.

Potres na južni Sumatri v Indoneziji

Potres, ki je v letu 2009 zahteval največ človeških življenj, je nastal 30. septembra 2009 ob 10. uri in 16 minut po svetovnem času (UTC) oziroma 17. uri in 16 minut po lokalnem času in je imel navorno magnitudo 7,5. Nastal je na območju, kjer se Avstralska plošča podriva pod Sumatro, ki leži na Evrazijski plošči. Na mestu potresa je hitrost premikanja Avstralske plošče glede na Evrazijsko 60 mm/leto v smeri sever-severovzhod. Žarišče potresa je bilo v morju, na globini 81 km, 60 kilometrov zahodnoseverozahodno od mesta Padang. Zaradi velike globine potresa strokovnjaki domnevajo, da je potres posledica deformacije znotraj Avstralske plošče, ki se podriva, in ni nastal na samem stiku med ploščama. Potresu je sledilo več popotresnih sunkov. Najmočnejši, z navorno magnitudo 5,5, se je zgodil 22 minut po glavnem potresu na globini 104-ih kilometrov.

Potres je za sabo pustil veliko razdejanje. Na območju Padang-Pariaman je vsaj 1117 ljudi izgubilo življenje, vsaj 1214 je bilo ranjenih. 181.665 zgradb je bilo porušenih ali poškodovanih, tudi



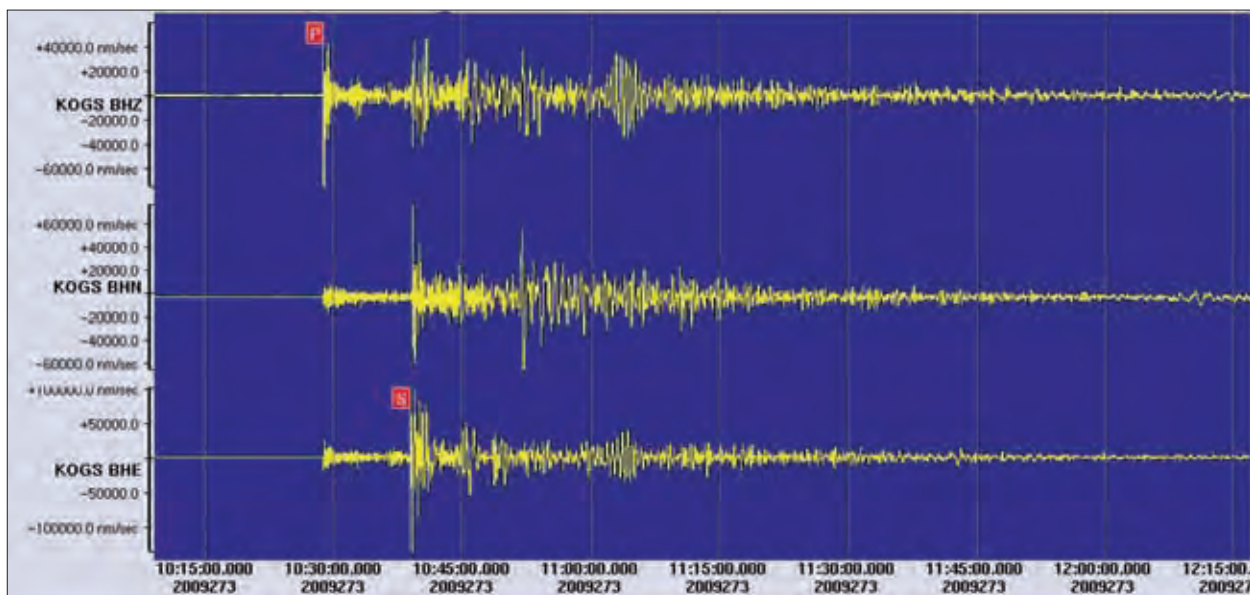
Slika 4. Trikomponentni zapis potresa 29. septembra 2009 pri Samoi na potresni opazovalnici CRNS državne mreže potresnih opazovalnic z označenim vstopom PKPdf faze. Prikazan je zapis v dolžini treh ur in pol.

Figure 4. Three-component seismogram of the earthquake on 29 September 2009 near Samoa Islands, as recorded on CRNS station. PKPdf phase is marked. The figure shows three and a half hours long record.



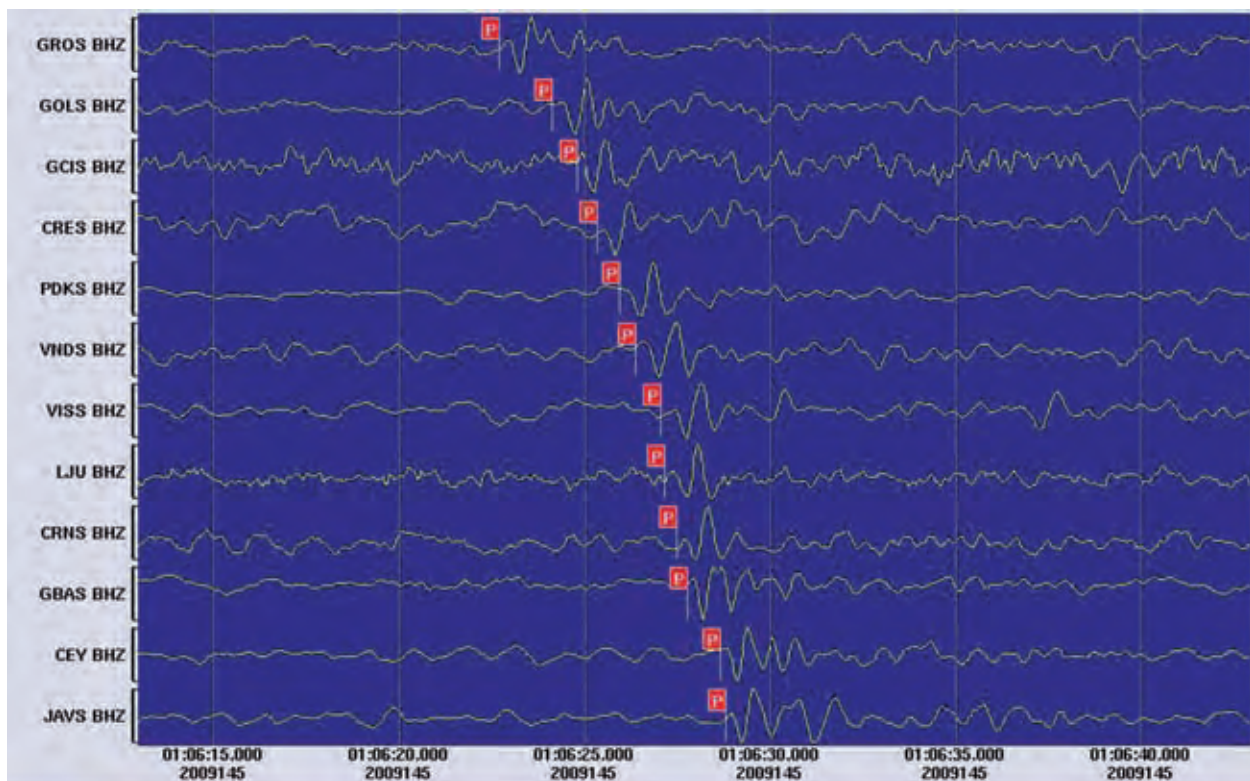
Slika 5. Poškodovana vladna palača v Padangu, Indonezija. (vir: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Padang_earthquake.jpg)

Figure 5. Destroyed government building in Padang City, Indonesia. (source: http://en.wikipedia.org/wiki/File:Padang_earthquake.jpg)



Slika 6. Trikomponentni zapis potresa 30. septembra 2009 na Sumatri na potresni opazovalnici KOGS državne mreže potresnih opazovalnic. Označeni sta fazi P in S. Prikazan je zapis v dolžini dveh ur.

Figure 6. Three-component seismogram of the earthquake on 30 September 2009 near Southern Sumatra, Indonesia, as recorded on KOGS station. P and S phase are marked. The figure shows two hours long record.



Slika 7. Jedrski poskus v Severni Koreji 25. maja 2009, zabeležen na opazovalnicah slovenske državne mreže.

Figure 7. North Korean nuclear test on 25 May 2009 recorded by the stations of the Seismic Network of the Republic of Slovenia.

vladna palača v Padangu (slika 5). Okoli 451.000 oseb je ostalo brez strehe nad glavo. Sprožili so se zemeljski plazovi. Motena je bila oskrba z elektriko. Prav tako so bile motene komunikacijske povezave. Potres so čutili tudi na Niasu, Javi, v Maleziji in na Tajskem. Pri Pandangu na Sumatri je bil cunami z največjo višino valov 27 centimetrov (NEIC, 2009).

Potresni valovi so od žarišča do slovenskih potresnih opazovalnic potovali dobrih 12 minut, na opazovalnici na Kogu (KOGS) so jih seizmografi zabeležili ob 10. uri 28 minut in 42 sekund po UTC (slika 6). Žarišče potresa je bilo od slovenskih potresnih opazovalnic oddaljeno približno 87° oziroma približno 9660 km. Pri potresih, katerih oddaljenost od opazovalnice je v območju med 28° in 100°, lahko na seizmogramu identificiramo P in S valove, ki so v tem primeru potovali skozi spodnji del Zemljinega plašča (Deterding, Jesenko, 2005). Vstopa faze P in S sta označena tudi na seizmogramu na sliki 6.

Potres v osrednji Italiji

Osrednjo Italijo je 6. aprila ob 1. uri in 32. minut po UTC oz. 3. uri in 32 minut po lokalnem času stresel potres z močjo $M_w = 6,3$. Povzročil je ogromno gmotne škode in zahteval človeška življenja. Na območju L'Aquile je bilo vsaj 305 žrtev in 1000 ranjenih. Vsaj 55.000 ljudi je ostalo brez strehe nad glavo. 15.000 zgradb je bilo poškodovanih ali uničenih. Sprožilo se je nekaj zemeljskih plazov. Potres so čutili po vsej Italiji in tudi ponekod v Sloveniji, Avstriji, Švici, Albaniji, Črni gori in Nemčiji (NEIC, 2009; Cecić in Godec, 2010).

Jedrski poskus v Severni Koreji

25. maja 2009 je Severna Koreja v pokrajini Kilju ob 9. uri in 54 minut po njihovem lokalnem času (00:54 po UTC) izvedla podzemni jedrski poskus. Moč jedrske eksplozije je bila primerljiva moči potresa magnitude 4,5. Dogodek so zabeležili tudi seizmografi naše državne mreže potresnih opazovalnic. Seizmično valovanje je iz oddaljenosti 8350 km do naših opazovalnic potovalo dobrih 11 minut (slika 7).

Literatura

- ARSO, Urad za seizmologijo in geologijo, 2009. Preliminarni seizmološki bilten, 2009. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Cecić, I., Godec, M., 2010. Potres v L'Aquili. Potresi v letu 2009. Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.
- Deterding, M., Jesenko, T., 2005. Najmočnejši in najgloblja potresa v svetu v letu 2003. Potresi v letu 2003 (ur. R. Vidrih), Agencija RS za okolje, Urad za seizmologijo in geologijo, 123-132, Ljubljana.
- Flinn-Engdahl regions. Wikipedia The Free Encyclopedia [online]. (Posodobljeno 9. 5. 2010). Dostopno na naslovu: http://en.wikipedia.org/wiki/Flinn-Engdahl_regions (Uporabljeno 2. 8. 2010).
- NEIC, 2009. Significant Earthquakes of the World. US Department of the Interior. Geological Survey, National Earthquake Information Center. http://earthquake.usgs.gov/earthquakes/eqarchives/significant/sig_2009.php
- Sinčič, P., Tasič, I., Živčič, M., Prosen, T., 2010. Potresne opazovalnice v Sloveniji v letu 2009. Potresi v letu 2009, Agencija RS za okolje Urad za seizmologijo in geologijo, Ljubljana.

POTRES PRI L'AQUILI (SREDNJA ITALIJA) 6. APRILA 2009

L'AQUILA (CENTRAL ITALY) EVENT ON 6 APRIL 2009

Ina Cević, Matjaž Godec

Povzetek

V ponedeljek, 6. aprila 2009, je ob 3.32 zjutraj po lokalnem času nastal potres z navorno magnitudo 6,2 na globini 9 km v bližini mesta L'Aquila v srednji Italiji. Mesto L'Aquila, v katerem je živel okoli 73.000 prebivalcev, je prestolnica pokrajine Abruzzo. V potresu je umrlo 305 ljudi, ranjenih je bilo okoli 1500, porušenih ali poškodovanih je bilo 10–15 tisoč zgradb. Začasno so oblasti evakuirale skoraj 80.000 prebivalcev, od tega jih je 24.000 ostalo brez doma. Takoj po potresu so na teren odšli seizmologi in geologi ter začeli zbirati podatke o učinkih na zgradbe in naravo. Seizmološki ekipi sva se priključila tudi avtorja članka in sodelovala pri zbiranju makroseizmičnih podatkov v L'Aquili in okoliških krajih.

Abstract

On Monday, 6 April 2009 at 3.32 local time an earthquake with moment magnitude 6.2 hit L'Aquila in central Italy. The town with 73000 inhabitants is the capital of Italian province Abruzzo. According to the official data, 305 people died in the earthquake, 1500 were wounded and 10-15 thousand buildings were damaged. The authorities have temporarily moved 80000 inhabitants, 24000 of them were homeless. Immediately after the earthquake seismologists and geologists started field surveys in order to collect the data on earthquake effects on buildings and the environment. Two Slovenian experts (authors of this paper) joined the efforts and helped collecting macroseismic data in L'Aquila and surrounding area.

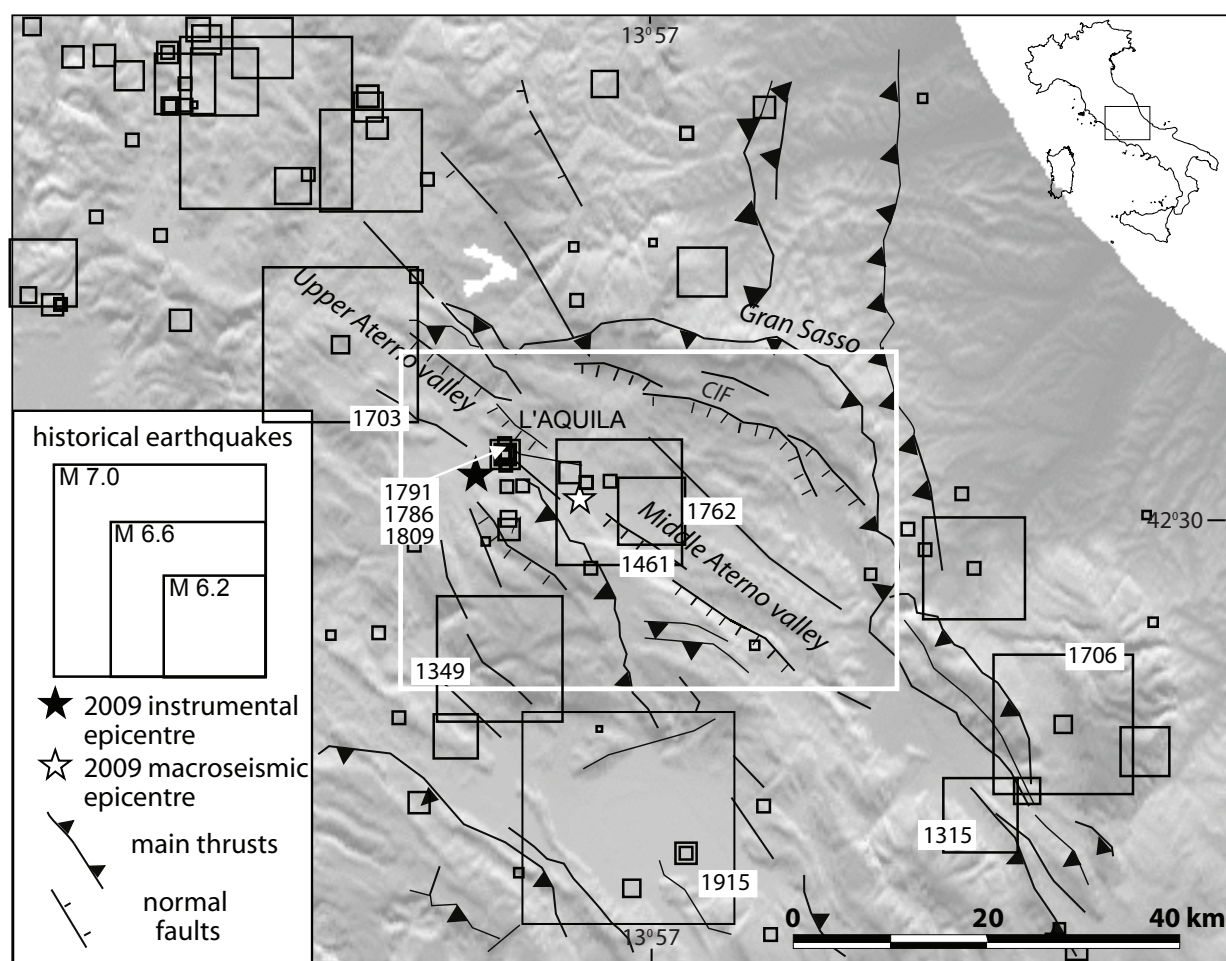
Zgodovinska seizmičnost in potresna ogroženost širšega območja L'Aquile

Potresna zgodovina mesta L'Aquila nam razkriva, da so ga v preteklosti že večkrat prizadeli močni potresi (slika 1) (Guidoboni in sod., 2007, Tertulliani in sod., 2009). Najmočnejši med njimi se je zgodil 2. februarja 1703, ko so učinki potresa v mestu dosegli deveto stopnjo lestvice MCS (v Italiji je še vedno v uradni rabi lestvica MCS, EMS uporabljajo le občasno). Pred tem so mesto prizadeli še vsaj trije močni potresi ali potresni nizi (leta 1315, 1349 in 1461). Za potres 27. novembra 1461 obstajajo zgodovinski zapisi o poškodbah v L'Aquili, posebej na spomeniških stavbah. Ta dan sta se zgodila dva močna potresa, sledila jima je dva meseca trajajoča potresna aktivnost. Več močnih popotresov je povečalo poškodbe na stavbah. Poškodovana so bila tudi naselja v okolici (Onna, Poggio Picenze, Castelnuovo, S. Eusanio, Barisciano in Castelvecchio C.), ki so JV od mesta. Zgodovinske raziskave tega potresnega niza kažejo na možnost, da je njegova moč podcenjena in da so bile razmere verjetno zelo podobne tem leta 2009.

Naslednji močan potres je prizadel mesto 6. oktobra 1762 in povzročil znatno gmotno škodo predvsem v krajih JV od L'Aquile. Poškodovane so bile nekatere izmed lokacij, ki so bile močno prizadete tudi leta 2009: v kraju Castelnuovo je bila intenziteta potresa leta 1762 IX-X MCS, v Poggio Picenze IX MCS, v Bariscianu VIII MCS in v L'Aquili VII MCS. Ta potres so čutili tudi v Rimu, približno 100 km od nadžarišča.

Po letu 1703 ni bilo potresov, ki bi v sami L'Aquili dosegli intenziteto IX, čeprav se področje ni izognilo poškodbam stavb zaradi potresov. Zgodili so se številni nekoliko šibkejši potresi blizu mesta, pa tudi nekateri bolj oddaljeni (najmočnejši med njimi je bil leta 1915 pri kraju Fucino), ki so povzročili nekaj poškodb tudi v L'Aquili in bližnji okolici.

Pogosti potresi, ki povzročijo močne poškodbe, vplivajo tudi na videz nekega kraja; tako je bilo tudi v L'Aquili pred zadnjim potresom sorazmerno malo srednjeveških stavb. Zgodovinsko mestno jedro je bilo večinoma zgrajeno na začetku 18. stoletja.



Slika 1. Prikaz širšega nadžarišnega območja: zgodovinski potresi in tektonika. Prevod pojmov: *historical earthquakes* – zgodovinski potresi; *instrumental epicentre* – instrumentalno določen epicenter; *macroseismic epicentre* – makroseizmični epicenter; *main thrusts* – glavni narivi; *normal faults* – normalni prelomi; *Upper Aterno valley* – zgornja dolina reke Aterno; *Middle* – srednja. Vir: Tertulliani in sod., 2009. (objavljeno z dovoljenjem avtorjev)

Figure 1. Historical seismicity and tectonics in the wider epicentral area. (Source: Tertulliani et al., 2009)

Glede na potresno zgodovino kot tudi na geološko zgradbo, je bilo na kartah potresne nevarnosti območje L'Aquile uvrščeno v cono z največjo verjetnostjo za močan potres. Že raziskave iz leta 1999 so to področje uvrstile med štiri najbolj ogrožena v Italiji, kar so potrdile tudi vse poznejše študije (Stucchi in sod., 2009).

Geološka zgradba nadžarišnega območja

Tektonski režim dela Apeninov, v katerem se nahaja pokrajina Abruzzo, opredeljujejo kvarterni normalni prelomi, ki potekajo v smeri S-J ali SZ-JV (slika 1). Ti prelomi so odgovorni za nastanek večine močnih potresov v tem delu Italije. V bližini mesta L'Aquila je sistem prelomov v smeri SZ-JV povezan z enako usmerjenimi depresijami, z vidno aktivnostjo v kvartarju (Tertulliani in sod., 2009). Najmočnejši potres na tem območju (leta 1703) povezujejo s prelomnim sistemom v zgornjem delu doline reke Aterno.

Nastanek potresov leta 2009 so geologi najprej pripisali prelomu Paganica, ki je bil aktiven tudi v zgodovini in je povzročil nekaj pomembnih potresov na tem območju, predvsem za tistega iz leta 1703. Raziskave pa so pokazale (Tertulliani in sod., 2009), da je 300-letno obdobje prekratko, da bi se ob njem lahko ponovno zgodil potres s tako veliko magnitudo. Po zadnjih domnevah

naj bi bilo žarišče potresa leta 2009 sicer na istem seizmogenem območju, toda na enem izmed bližnjih prelomov.

Potresna aktivnost leta 2009

Potres 6. aprila 2009 je bil najmočnejši v nizu potresov, ki so se na tem ozemlju dogajali že štiri mesece (INGV, 2009, 2009a). Mnoge izmed njih so prebivalci čutili in vznemirjenost se je povečevala, posebej po potresu 31. marca (magnituda 4,1).

Žarišče najmočnejšega potresa (6. april 2009, 1.32 UTC oziroma 3.32 po lokalnem, srednjeevropskem poletnem času) je bilo v globini devetih kilometrov. Njegova navorna magnituda (M_w) je bila 6,2, lokalna (M_L) pa 5,8 (oboje po podatkih INGV). Največjo intenziteto (IX–X MCS) je potres dosegel v krajih Castelnuovo, Onna in San Gregorio (Galli in Camassi, 2009).

Glavnemu potresu so sledili trije popotresi z magnitudo večjo od 5,0, nato pa še 13 potresov z magnitudo večjo od 4,0. Do novembra 2009 so seizmografi zabeležili več kot 30000 popotresov. Popotresi so se dogajali na 30 km dolgem območju, raztegnjenem v smeri SZ–JV, vzporedno s prevladujočimi geološkimi strukturami. Globine žarišč so bile med 10 in 12 km, le eden najmočnejših popotresov je bil na globini 15 km.

Stavbni fond v nadžariščnem območju

V pokrajini Abruzzo je, tako kot drugod v Italiji, stari del mesta središče življenja. Na širšem območju L'Aquile se je pozidava začela že v 13. stoletju in se nadaljevala do modernih časov. Ti objekti (s prezidavami in dozidavami) so del vsakodnevnega življenja v središčih mest.

Zgradbe v stari L'Aquili so predvsem zidane. Največ poškodb je bilo na zgradbah iz 18. in 19. stoletja, ker so mestno središče po potresu leta 1703 zgradili na novo. Prav tako pa v zadnjih desetletjih niso namenjali dovolj pozornosti načrtnemu zmanjševanju ranljivosti starih zgradb.

Poleg starih objektov so se porušili tudi posamezni novejši, predvsem zato, ker pri gradnji niso bila upoštevana pravila in standardi potresno odporne gradnje (tu so bili med hudo poškodovanimi predvsem neduktilni betonski okvirji). Ob tem je Enzo Boschi, predsednik italijanskega državnega instituta za geofiziko in vulkanologijo (INGV), izjavil: »Porušene zgradbe v Abruzzu niso bile grajene tako, da bi lahko prestale potres, ki sploh ni bil tako močan,« (CBS NEWS, 2009). Dodal je, da so se Italijani še po vsakem potresu pobrali, vendar pa, da ni v njihovi kulturi, da bi pri gradnji uporabili pravi način – to je potresno odporno gradnjo novih in potresno utrditev starih zgradb. Italijanski vodilni strokovnjak na področju geologije in naravnih nesreč Franco Barberi je v enem izmed intervjujev tudi izjavil, da ga jezi, ker pri podobnem potresu v Kaliforniji ali na Japonskem sploh ne bi bilo smrtnih žrtev (The Independent, 2009).

Stari zidani objekti

Popolne porušitve zidanih zgradb v starem delu L'Aquile so bile redke, so pa bile številne stavbe iz delno obdelanega ali neobdelanega kamna tako hudo poškodovane, da jih je bilo treba pozneje podreti. V nekaterih primerih so se porušile stropne konstrukcije. Leseni stropi so, kot posledica ločevanja nepovezanega zidovja, izgubili oporo na nosilnih zidovih. Sorazmerno dobro »obnašanje« starih stavb v L'Aquili (v primerjavi s podeželjem) je predvsem posledica kakovostnejših materialov in boljše obrtniške prakse. Bogatejše družine so si to namreč lahko privoščile. Pravilo, da katastrofe ubijajo ljudi ne glede na družbeni ali ekonomski položaj, nikoli ni veljalo, tudi danes ne.

Za L'Aquilo je veljalo, da je imela 99 trgov in prav toliko cerkva. Kot objekti, v katerih se zbira veliko ljudi, so zelo pomemben dejavnik potresne ogroženosti. Žal so bile mnoge cerkve



Slika 2. L'Aquila: v cerkvi Santa Maria di Paganica je prišlo do porušitve strehe in kupole. Cerkev je bila zgrajena že v XIV. stoletju, potres leta 1703 jo je porušil, zato je bila v XVIII. stoletju skoraj v celoti na novo zgrajena. (Avtor posnetka M. Godec)

Figure 2. L'Aquila: collapse of the roof and dome of the church Santa Maria Paganica. The church was built in XIV century, almost completely destroyed in the 1703 event and rebuilt in XVIII century. (Photo by M. Godec)



Slika 3. L'Aquila: po potresu leta 1703 zgrajeni cerkvi Santa Maria del Suffragio sta se porušili tako kupola kot streha. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 3. L'Aquila: church Santa Maria del Suffragio (built after the 1703 earthquake) lost the roof and cupola. (Photo by M. Godec)

med potresom zelo poškodovane (slika 2, slika 3). Gre za stare objekte z velikimi razponi, ki so redko dobro vzdrževani in večinoma niso potresno utrjeni. Številni verski objekti so utrpeli hude poškodbe, od odpadanja štukatur, globokih razpok v cerkvenih stolpih in vogalih cerkva, pa do porušenja kupol, streh in nosilnih zidov.

V L'Aquili so bili posamezni objekti potresno že utrjeni (slika 4). Po potresu leta 1703 so kot ojačitve v stene vgrajevali hlode premera 20 cm, ki so jih z železnimi vezmi povezovali z zidovjem. Pozneje so zidovje povezovali z jeklenimi vezmi, položenimi vzdolž nosilnih zidov. Tako ojačene stavbe so potres prestale le z manjšimi razpokami v stenah ali vogalih (slika 5).

Bistveno slabše je bilo stanje na podeželju in v manjših mestecih, obseg poškodb pa je bil zelo odvisen od lokalnih geoloških razmer (slike 6-9). Značilne stanovanjske hiše so dvo- ali trietažne s samostojnim vhodom, postavljene v nizu, tesno druga ob drugi. Nosilni zidovi so debeli do 40 cm, iz delno obdelanega ali neobdelanega kamna v slabi apneni malti. Ponekod so za gradnjo zidov uporabljali tako imenovano tehniko »sacco«. V tej tehniki sta zunanji lici zidu zidani, v prostoru med licema pa je kamniti drobir v slabši apneni malti ali blatu. V tako polnjenem zidu so vgrajeni vezni kamni, ki povezujejo zunanje in notranje lice zidu. Marsikje so pri starejših hišah opazne sledi prezidave odprtin v velikosti od 1 do 3 m², ki so pomenile dodatna šibka mesta.

Zgradbe v hribovskih vaseh, ki ležijo sicer v neposredni bližini nadžarišča (Colimeto, Colle di Lucoli), so utrpeli le manjše poškodbe. Temeljna tla so tu trše kamnine.

V vaseh po dolinah (Paganica, Tempera, Onna), kjer je geološka podlaga mehkejša, pa je bilo število poškodovanih objektov bistveno večje in pod ruševinami so umrli številni prebivalci.

Najbolj poškodovano naselje je bila vsekakor vas Onna (slika 10). Vas je med potresom izgubila 40 od približno 200 prebivalcev, veliko je bilo tudi ranjenih. Večina tradicionalnih stavb je bila porušena. Kot veliko nasprotje pa je ponekod ostala kakšna novejša kakovostno grajena ali montažna stavba, ki je potres prestala brez vidnih poškodb.

Armiranobetonski objekti

Stanovanjski objekti, zgrajeni po drugi svetovni vojni, so navadno dvo- do štirietažne armiranobetonske konstrukcije. Redko so ti objekti tudi višji, vendar največ osemetažni. Pritličje takšnih stanovanjskih objektov je navadno namenjeno poslovni ali trgovski dejavnosti. Nosilni sistem je armiranobetonski okvir z zidanimi polnili. Večinoma ti objekti niso projektirani za prevzem obremenitev pri močnejših potresih. Pri močno poškodovanih objektih je bilo vidno, da so uporabljali gladko armaturo, pa tudi stremena so premera največ 6 mm na razdalji 25 cm. Tudi preklapljanje in sidranje armature nista zadostovala, beton je bil pri poškodovanih objektih nehomogeno porazdeljen (nekompaktna masa betona s porami zraka). Vse skupaj je pomenilo zmanjšano nosilnost in duktilnost teh zgradb (slika 11, slika 12).

Posamezni armiranobetonski objekti so se med potresom porušili (slika 13, slika 14), največ je bilo poškodb polnil v okvirih. Poškodbe polnil so bile v razponu od majhnih razpok do porušitev (slika 15, slika 16). Ponekod je v pritličju prišlo do zelo velikega obsega poškodb polnil in predelnih sten, kar bo povzročilo zelo visoke stroške sanacije ali še bolje utrditve.

V posameznih primerih so močna polnila povzročila tudi poškodbe nosilnega sistema – pojavljale so se razpoke v vozliščih okvirov.

Javni objekti

Ob potresih so še posebne pozornosti deležni javni objekti, saj je eden izmed ciljev potresno odporne gradnje, da so ti uporabni takoj po potresu. Žal je bila osrednja bolnišnica v L'Aquili (gradili so jo od leta 1971 do leta 2000) po potresu zaprta. V enem izmed traktov je prišlo do



Slika 4. L'Aquila: solidno grajene in utrjene starejše zgradbe so potres prestale le z manjšimi poškodbami. Zgradba ima vogale narejene iz obdelanega kamna, prav tako so vgrajene jeklene vezi prek nosilnih zidov v višini stropov, ki povezujejo zidove. (avtor posnetka M. Godec)

Figure 4. L'Aquila: the superior performance of some older masonry buildings was a result of better material and seismic strengthening. The corners of the building were built of massive stone and it was strengthened with iron wall ties. (Photo by M. Godec)



Slika 5. Collimonto: še en primer solidno grajene in utrjene starejše zgradbe, ki je potres prestala le z manjšimi poškodbami. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 5. Collimonto: another example of superior performance of older masonry building - a result of better material and seismic strengthening. (Photo by M. Godec)



Slika 6. Vallecupa: hude poškodbe so nastale kot posledica ločevanja nepovezanega zidovja. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 6. Vallecupa: severe damage caused by failing of connections between walls. (Photo by M. Godec)

Slika 7. Poggio Pienze: pogled na ruševine (porušene in močno poškodovane stanovanjske zgradbe). (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 7. Poggio Pienze: a general view of the collapse area (collapsed and severely damage residential buildings). (Photo by M. Godec)





Slika 8. Tempera: pogled na ruševine (porušene stanovanjske zgradbe). (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 8. Tempera: a general view of collapsed residential buildings. (Photo by M. Godec)



Slika 9. Tempera: porušitev zidane zgradbe, ki je bila ojačana z betonskih vencem. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 9. Tempera: collapse of a masonry building with concrete ring beam retrofit. (Photo by M. Godec)



Slika 10. Onna: popolna porušitev večine objektov v vasi, v kateri je umrlo 40 prebivalcev od dvestotih. Vzrok zanjo je slaba gradnja na mehki geološki podlagi, ki je povzročila okrepitev potresnih valov. Porušene hiše so bile zidane iz neobdelanega in le delno obdelanega kamna v slabi malti. Nekaj novejših montažnih objektov v vasi je potres prestalo le z majhnimi poškodbami. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 10. Onna: total collapse of buildings in the village, where 40 out of 200 of its inhabitants were killed. The cause of the collapse is the soft geological base, that caused the amplification of the ground shaking. The destroyed houses were built of uncut and partly cut stone in weak mortar. A few of the recently built houses in the village suffered only minor damage. (Photo by M. Godec)



Slika 11. L'Aquila: ponekod je pri armiranobetonskih okvirih, grajenih pred več kot 30 leti, prišlo do porušitve stebrov ali prečk. Vzrok temu sta močno polnilo in slaba kvaliteta armiranega betona. Uporabljena je bila gladka armatura, stremenske armature pa sploh ni. (avtor posnetka M. Godec)

Figure 11. L'Aquila: the failure mechanism in structural elements of reinforced concrete buildings included in some cases failure of columns or beams. This happened because of strong infills, use of smooth reinforcing bars or insufficient transversal reinforcement (in some cases there were no stirrups). (Photo by M. Godec)



Slika 12. Pettino: obsežne poškodbe na osnovni šoli. (avtor posnetka: M. Godec)
Figure 12. Petino: extensive damage to the elementary school. (Photo by M. Godec)



Slika 13. Monticchio: poškodbe na industrijski hali iz prefabriciranih elementov, s katere so odpadli deli fasade. (avtor posnetka M. Godec)
Figure 13. Monticchio: precast facade element dropped from a prefabricated industrial building. (Photo by M. Godec)



Slika 14. Pettino: porušitev polnil. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 14. Pettino: severe infill wall damage. (Photo by M. Godec)



Slika 15. Monticchio: odpadel montažni fasadni element. (avtor posnetka: M. Godec)

Figure 15. Monticchio: dropped precast facade element. (Photo by M. Godec)

porušenja posameznih stebrov, drugod so bile nekonstrukcijske poškodbe (odpadanje ometa, poškodbe predelnih sten) omejene in zmerne. Od štirih operacijskih dvoran je bila delno uporabna le ena. Bolnišnico so ponovno odprli šele nekaj mesecev po potresu. Ob naravnih nesrečah se sicer postavljajo začasne poljske bolnišnice, vendar je njihova postavitve pogosto prepozna za pomoč poškodovancem in tudi za zagotavljanje splošne pomoči bolnikom, poleg tega je takšna postavitve tudi draga in logistično zahtevna.

Tudi vse šole na širšem nadžariščnem območju so bile zaprte več tednov po potresu. Objekte so pregledale posebne komisije in določile, katere šole se lahko uporabljajo brez dodatnih nujnih popravil in katere morajo ostati zaprte do temeljite sanacije. Pouk je bil organiziran v šotorih.



Slika 16. Pettino: pri novejših armiranobetonskih okvirjih je pogosto prišlo do porušitve polnil. Takšen tip gradnje stanovanjskih objektov je na prizadetem območju zelo pogost, mnogo je bilo še nevseljenih objektov z enakim tipom poškodb. (avtor posnetka M. Godec)

Figure 16. Pettino: the most common type of damage in newer reinforced concrete buildings was cracking or complete brittle failure of masonry infill walls. This type of apartment buildings is frequent in the region. Recently completed and not yet inhabited buildings were damaged as well. (Photo by M. Godec)

Ukrepanje ob potresu

Med potresom se je podrla upravna stavba prefekture v L'Aquila, zato je bilo osrednje koordinacijsko središče civilne zaščite prestavljeno v izobraževalni center policije v Coppitu, v predmestju L'Aquile. Dva dni po potresu (8. aprila) je na prizadetem območju že delalo 2250 gasilcev, 1500 vojakov, 2000 policistov in več kot 1000 strokovnjakov različnih tehničnih strok. V teh dveh dneh je bilo postavljenih 31 šotorišč, v katere so namestili 17.700 brezdomcev (slika 17). Poleg tega je bilo okoli 10000 brezdomcev v dveh dneh nameščeno v 171 hotelov ob Jadranski obali. Takoj po potresu so bile postavljene tudi poljske bolnišnice za nudenje prve pomoči. Za oskrbo in namestitev je bilo pozneje na voljo še 1700 zasebnih stanovanjskih hiš.

14. aprila je bila odprta tudi prva šola v šotorišču pri kraju Poggio Picenze, 20. aprila pa je delo na novi lokaciji nadaljevala tudi Univerza v L'Aquila. Do 27. aprila je bilo že 66000 ljudi nameščenih v začasna prebivališča (36000 ljudi v 5700 šotorih, 30000 ljudi pa v 4333 hotelih in 1700 v zasebnih hišah).



Slika 17. Šotorsko naselje v kraju Poggio Picense: ponekod so prebivalci lahko bivali v neposredni bližini svojih domov, za druge je bilo poskrbljeno v hotelih na Jadranski obali. (avtor posnetka I. Cecić)

Figure 17. Evacuation camp in Poggio Picense: depending on the local situation, for some inhabitants the tents were provided in close vicinity of their homes, the others were moved to the hotels on the Adriatic coast. (Photo by I. Cecić)

29. aprila je župan L'Aquile naznanil, da se ljudje, katerih bivališča so bila ocenjena kot varna, lahko vrnejo na svoje domove.

Ocenjevanje poškodovanosti zasebnih hiš se je začelo dva dni po potresu, ko so končali ocenjevanje javnih stavb (bolnišnice, šole, poslovne in industrijske stavbe). Načrten pregled stanovanjskih objektov se je začel pri manj poškodovanih soseskah in se postopoma nadaljeval do bolj poškodovanih. Območja, ki so bila od nadžarišča bolj oddaljena, so bila ocenjena le na posebno zahtevo.

Okoli 1500 ocenjevalcev je vsak dan ocenilo približno 1000 zgradb. Vsaka ocenjevalna skupina je imela tri gradbene strokovnjake (najprej so bili to javni uslužbenci, pozneje so vključevali tudi strokovnjake iz zasebnega sektorja).

Do 2. maja je bilo pregledanih okoli 24000 objektov izven najbolj prizadetega območja. 65 odstotkov objektov je bilo označenih z zeleno barvo (kar je pomenilo, da se ljudje lahko ponovno naselijo), 27 odstotkov pa je bilo označenih z rdečo (kar je pomenilo, da se ljudje ne smejo vseliti). Zgodovinskega središča L'Aquile in še nekaj najbolj poškodovanih vasi zaradi nevarnosti tudi mesec dni po potresu še niso ocenili.

Terensko delo seizmologov in geologov po potresu

Takoj po glavnem potresu so aktivirali dve italijanski skupini za hitro posredovanje, in sicer QUEST (Quick Earthquake Survey Team), skupino seizmologov, ki skrbi predvsem za čimprejšnje zbiranje terenskih makroseizmičnih podatkov, in EMERGEIO, skupino geologov, ki na terenu razišče učinke, ki jih povzročijo potresi z magnitudo nad 5,5. Obe skupini delujeta pri



Slika 18. Jezero Sinizzo: globoke razpoke v tleh, del obale se je pogreznil v vodo. (avtor posnetka I. Cecić)

Figure 18. Lake Sinizzo: deep fissures in the ground, partial collapse of the lake shore. (Photo by I. Cecić)

Nacionalnem inštitutu za geologijo in vulkanologijo (INGV). Nekaj dni po potresu je koordinator QUEST-a povabil avtorja tega članka, da kot izkušena strokovnjaka prideva pomagat pri zbiranju in hitrem vrednotenju podatkov. V štirih dneh sva tako imela priložnost ogledati si številne prizadete lokacije, vključno s središčem L'Aquile, zaprtim za civiliste, in še bolj zastraženo vasico Onna.

Seizmologi, člani QUEST-a, so si zadali nalogo, da zberejo makroseizmične podatke tako, da jih lahko ovrednotijo tudi s pomočjo evropske potresne lestvice (EMS-98) (Galli in Camassi, 2009). Ker je tak način zbiranja podatkov zelo zahteven, je pri delu sodelovalo veliko strokovnjakov (Camassi in sod., 2009). Sama lestvica EMS je bila pri tem prvič odkar obstaja, uporabljena za natančno določitev stopnje potresnih učinkov (intenzitete) v večjem mestu (L'Aquila). Terensko delo je trajalo več kot dva meseca, pri čemer so bili zbrani podatki za približno sto krajev. Glede na zahteve lestvice je bila posebna pozornost namenjena določanju tipologije stavb in stopnji njihove poškodovanosti ter statistični obdelavi števila poškodovanih stavb. Tako delo je zahtevno, ker je nujno opraviti ogled vseh zgradb v kraju in za vsako določiti oba zahtevana podatka. Marsikje je bil dostop do stavb ali vse četrti otežen zaradi ruševin in izjemno nevaren, zato smo delo opravljali večinoma ob spremljavi gasilcev.

Ker za večino okoliških krajev vrednost intenzitete EMS še ni objavljena, bova navedla le tiste, omenjene v članku o uporabi EMS-lestvice pri tem potresu (Barbano in sod., 2009): v kraju Onna je bila določena intenziteta IX EMS-98, za Coppito VII EMS-98, L'Aquilo pa je bilo treba razdeliti na več delov, in sicer glede na geološko podlago in tipologijo zgradb. Intenziteta v severozahodnem delu mesta (predmestji Cansanessa in Pettino) je bila ocenjena na VII-VIII EMS-98, v jugovzhodnem delu mesta (predmestji Torretta in Gignano) pa VII EMS-98. Intenziteta v zgodovinskem centru mesta je bila VIII-IX EMS-98, kar pomeni, da je večina poškodb spadala v osmo stopnjo, bilo pa je tudi kar nekaj kazalcev za deveto stopnjo.

Geologi iz ekipe EMERGEEO so raziskovali površinske učinke potresa na naravno okolje (EMERGEEO, 2009). Čeprav sledi površinskih pretrgov ob prelomu niso našli, je bilo evidentiranih kar nekaj razpok v tleh in cestiščih, manjših podorov, sprememb obnašanja vodnih virov in tudi premik večjega dela obale jezera Sinizzo, ki je zdrsnil v vodo (slika 18) (Galadini in sod., 2009).

Leto 2010 - obtožbe in lov na čarovnice

Spomladi 2010 je seizmološko skupnost presenetila in pretresla novica, da je urad tožilstva v L'Aquila obtožil vidne znanstvenike, člane Komisije za velika tveganja in vodje Civilne zaščite za uboj. Temelj obtožbe je trditev, da niso izvedli kratkoročnega alarmiranja pred potresom, s katerim bi pravočasno opozorili prebivalce in zmanjšali število žrtev, oziroma objavili čas in lokacijo na sestanku, ki je bil sklican teden pred potresom zaradi povečane potresne aktivnosti v pokrajini Abruzzo.

Vsa strokovna javnost se zaveda, da je obtožba popolnoma nerealna, ker potresov ni mogoče napovedati, sploh ne na način, kakor si ga je tožilstvo zamislilo. Ta proces odpira grd in nevaren precedens na evropskih tleh, saj se razlogi za smrt ljudi ne iščejo v malomarnem izvajanju predpisov in nevarni gradnji zaradi hitrih zaslužkov, ampak se odgovornost skuša preložiti na strokovnjake. Čeprav so ravno obtoženi kolegi najbolj zaslužni za raziskave potresne nevarnosti v Italiji in opozarjanje na možne posledice, so se prav oni zdaj znašli v položaju, ko se morajo zagovarjati zaradi neopozarjanja pred potresom, česar pa znanost danes še ne more zagotoviti.

Objava te novice je povzročila številne javne odzive seizmologov iz vsega sveta, v katerih izražajo ogorčenje nad absurdnim sodnim procesom, kot tudi zaskrbljenost nad zaostalim in popolnoma napačnim razmišljanjem organov pregona v Italiji.



Slika 19. Avtorja članka v šotorskem naselju v L'Aquila. (avtor posnetka A. Tertulliani, INGV Roma)

Figure 19. The authors in the evacuation camp in L'Aquila. (Photo by A. Tertulliani, INGV Rome).

Zahvala

Zahvaljujeva se Romanu Camassiju, INGV Bologna, ki naju je po potresu povabil, da sva aktivno sodelovala pri zbiranju podatkov in hkrati imela možnost obiskati prizadete lokacije, ki so bile za civiliste zaprte. Zahvaljujeva se tudi Andrei Tertullianiju, INGV Roma, ki nama je dovolil objavo slik 1 in 19.

Literatura:

- Barbano, M. S., R. Azzaro, R. Camassi, I. Cecic, S. D'Amico, A. Mostaccio, L. Scarfi, A. Tertulliani, T. Tuvè (2009). The L'Aquila 2009 earthquake: an application of the European Macroseismic Scale to the damage survey; dostopno na: www.earth-prints.org/bitstream/2122/5421/1/barbano4.1.doc.
- Camassi, R., P. Galli, A. Tertulliani, S. Castenetto, A. Lucantoni, D. Molin, G. Naso, E. Peronace, F. Bernardini, V. Castelli, A. Cavaliere, E. Ercolani, S. Salimbeni, D. Tripone, G. Vannucci, L. Arcoraci, M. Berardi, C. Castellano, S. Del Mese, L. Graziani, I. Leschiutta, A. Maramai, A. Massucci, A. Rossi, M. Vecchi, R. Azzaro, S. D'Amico, F. Ferrari, N. Mostaccio, R. Platania, L. Scarfi, T. Tuvè, L. Zuccarelli, S. Carlino, A. Marturano, P. Albin, A. Gomez Capera, M. Locati, F. Meroni, V. Pessina, C. Piccarreda, A. Rovida, M. Stucchi, G. Buffarini, S. Paolini, V. Verrubbi, M. Mucciarelli, R. Gallipoli, M.S. Barbano, I. Cecic, M. Godec (2009). Macroseismic investigation: methodology, earthquake parameters, unresolved issues. *Progettazione sismica*, No 3, Special issue, IUSS Press, Pavia, 47-53.
- CBS NEWS. Italy Quake's Death Toll Eclipses 150, 6 april 2009. dostopno na <http://www.cbsnews.com/stories/2009/04/06/world/main4921294.shtml>
- EMERGEO Working Group: Alessio, G.; Alfonsi, L.; Brunori, C. A.; Cinti, F. R.; Civico, R.; Cucci, L.; D'Addezio, G.; De Ritis, R.; Falcucci, E.; Fracassi, U.; Gasparini, A.; Gori, S.; Lisi, A.; Mariano, S.; Mariucci, M. T.; Montone, P.; Nappi, R.; Pantosti, D.; Patera, A.; Pierdominici, S.; Pignone, M.; Pinzi, S.; Pucci, S.; Vannoli, P.; Venuti, A.; Villani, F. (2009). Evidence for surface rupture associated with the Mw 6.3 L'Aquila earthquake sequence of April 2009 (Central Italy). dostopno na <http://www.earth-prints.org/handle/2122/5036>.
- Galadini, F., D. Pantosti, P. Boncio, P. Galli, P. Messina, P. Montone, A. Pizzi, S. Salvi (2009). The earthquake April 6th 2009 and the present knowledge of the active faults in the Central Apennines. *Progettazione sismica*, No 3, Special issue, IUSS Press, Pavia, 35-46.
- Galli, P., Camassi R. (urednika, 2009): Rapporto sugli effetti del terremoto aquilano del 6 aprile 2009. Dostopno na http://portale.ingv.it/real-time-monitoring/quest/macrodef_sito.pdf
- Guidoboni E., G. Ferrari, D. Mariotti, A. Comastri, G. Tarabusi, G. Valensise (2007). CFTI4Med, Catalogue of Strong Earthquakes in Italy (461 B. C.-1997) and Mediterranean Area (760 B.C. - 1500). INGV-SGA. Dostopno na <http://storing.ingv.it/cfti4med/>.
- INGV (2009). Location of April 6, 2009 earthquake updated with all the available data. Dostopno na http://portale.ingv.it/primo-piano-1/news-archive/2009-news/april-6-earthquake/location-of-april-the-6th-2009-earthquake-updated-with-all-the-available-data/view?set_language=en.
- INGV (2009a). La sequenza sismica de L'Aquilano - Aprile 2009, ultimo aggiornamento 24 settembre 2009. Dostopno na <http://portale.ingv.it/primo-piano/archivio-primo-piano/notizie-2009/terremoto-6-aprile/>.
- Stucchi, M., C. Meletti, A. Rovida, V. D'Amico, A.A. Gomez Capera (2009). Historical earthquakes and seismic hazard of the L'Aquila area. *Progettazione sismica*, No 3, Special issue, IUSS Press, Pavia, 23-34.
- Tertulliani, A., A. Rossi, L. Cucci, M. Vecchi (2009). L'Aquila (Central Italy) earthquakes: the predecessors of the April 6, 2009 event. *Seismological Research Letters*, vol. 80(6): 1008-1013
- The Independent. Questions over building standards as aftershocks continue, 8 April 2009. dostopno na: <http://www.independent.co.uk/news/world/europe/questions-over-building-standards-as-aftershocks-continue-1665358.html>

50 LET MODERNE SEIZMOLOGIJE NA SLOVENSKEM

50 YEARS OF MODERN SEISMOLOGY IN SLOVENIA

Renato Vidrih

Povzetek

V letu 2007 je slovenska seizmologija praznovala 110-letnico. Ob tem smo se spomnili prve potresne opazovalnice in njenega ustanovitelja dr. Albina Belarja. Leta 2009 pa slovenski seizmologi praznujemo 50-letnico povojne moderne seizmologije in njenega začetnika prof. dr. Vladimira Ribariča, ki smo mu na observatoriju na Golovcu v Ljubljani postavili spominsko ploščo.

Abstract

In 2007, Slovene seismology celebrated its 110th anniversary. On this occasion we remember the first earthquake observation station and its founder, Albin Belar. In 2009, Slovene seismologists celebrate the 50th anniversary of the post-war modern seismology and the man responsible for it, Vladimir Ribarič, to whom a memorial plate was dedicated on 27 September 2009 at the Golovec seismic observatory in Ljubljana.

Slovenska seizmološka služba je bila v svetovnem vrhu že koncem 19. stol., v 70-tih letih prejšnjega stoletja in je ponovno tudi danes. Začelo se je po ljubljanskem potresu 14. aprila 1895, ko se je Akademija znanosti na Dunaju odločila, da bo prva potresna opazovalnica v monarhiji postavljena prav v Ljubljani. Ob koncu 19. stoletja je bilo v Evropi le nekaj opazovalnic. Poleg opazovalnice v Potsdamu je bilo še nekaj opazovalnic v Italiji in Angliji (v Rusiji so vzpostavili omrežje opazovalnic leta 1902). Tako je že 18. septembra 1897 v kleti realke na Vegovi ulici v Ljubljani začela delovati prva potresna opazovalnica pod vodstvom pionirja slovenske seizmologije dr. Albina Belarja in je uspešno delovala do leta 1919.

Po prvi svetovni vojni se v slovenski seizmologiji in seizmološki službi ni dogajalo nič razen skromnih registracij preostanka Belarjevih instrumentov v Vrščah v Podhomu (Gorje pri Bledu). V okviru ljubljanske univerze in njenega inštituta za meteorologijo in geodinamiko so pod vodstvom dr. Arturja Gavazzija 1. decembra 1924 obnovili potresno opazovalnico v kletnih prostorih Univerze. Razpolagala je z dvema neuporabnima Belarjevima seizmografoma in šele leto pozneje je novemu ravnatelju dr. Oskarju Reyi uspelo kupiti sodobnejši horizontalni seizmograf konstruktorja Wiecherta, ki je bil prav tako postavljen v kletnih prostorih Univerze. Kljub seizmografu pa si takratni »priučeni seizmologi« niso mogli kaj dosti pomagati, saj so vse registracije zbirali v Beogradu, kjer so izdajali tudi seizmološke biltene. Med drugo svetovno vojno so vse registracije izginile, po nekaterih podatkih naj bi zgorele med bombnim napadom na Beograd aprila 1941. Vsekakor je bila to velika izguba za slovensko seizmološko znanost.

Svetovna seizmologija je napredovala, sledila so številna odkritja, predvsem v Združenih državah Amerike, takratni Sovjetski zvezi in na Japonskem. Jugoslavija in z njo Slovenija sta bili odmaknjeni od svetovnih razvojnih gibanj. Končno so se prebudili nekateri znanstveniki iz fizikalnega inštituta univerze in začeli leta 1954 obnavljati zelo načeto »vilo na Visokem«, kakor so imenovali dotrajan objekt na Golovcu v Ljubljani. Obnovitvena dela so trajala do leta 1958, ko je končno nastal Astronomsko-geofizikalni observatorij Univerze v Ljubljani. V tem času pa so usposobili tudi seizmograf Wiechert. V prvi polovici leta 1958 so kupili še seizmograf Stuttgart konstruktorja Hillerja. Oba instrumenta sta začela redno beležiti potrese junija 1958, najprej poskusno, temu pa je sledilo neprekinjeno zapisovanje potresov, kar traja še danes. Instrument Hiller je bil zelo občutljiv, tako da je bilo mogoče z njim registrirati tudi močnejše potrese, ki so nastajali vsepovsod na Zemlji. Število zapisanih potresov se je znatno povečalo in omogočilo



Slika 1. Observatorij na Golovcu v Ljubljani, ki so ga začeli obnavljati v obdobju 1954-58. Danes v njem gostujejo astronomi Oddelka za fiziko Univerze v Ljubljani in seizmologi Urada za seizmologijo in geologijo Agencije RS za okolje. V njem potekajo registracije potresne dejavnosti doma in po svetu neprekinjeno od leta 1959.

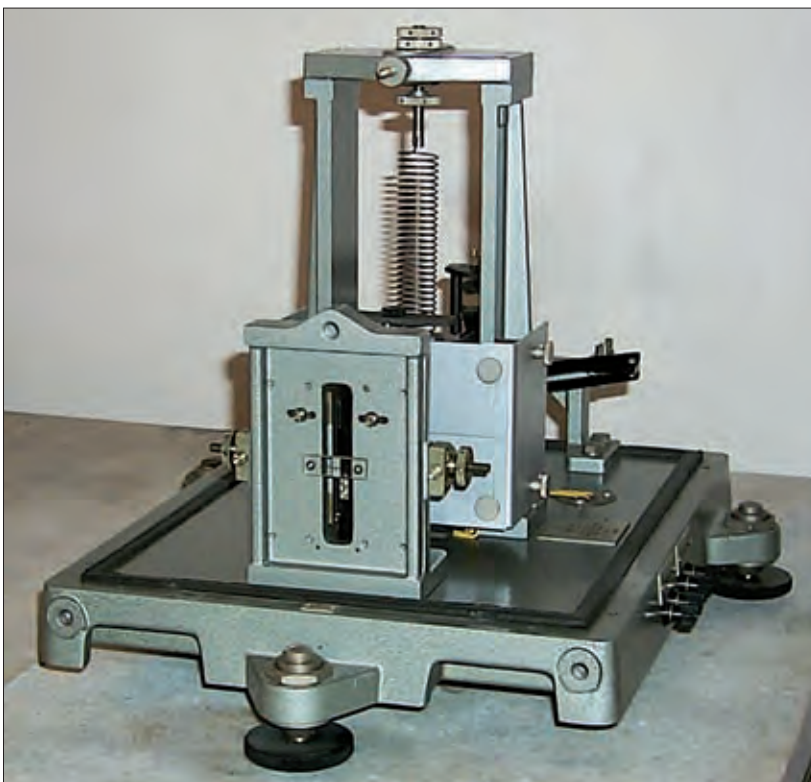
Figure 1. The view today of the Golovec Observatory in Ljubljana, on which renovations started in 1954. Today it hosts astronomers from the Department for Physics from the University of Ljubljana and seismologists from the Office for Seismology and Geology of the Agency of the Environment of the Republic of Slovenia. Earthquake activities at home and abroad have been continuously registered at the observatory since 1959.

znanstveno obdelavo posameznih, predvsem domačih potresov. Začetek izdajanja rednih seizmoloških biltenov je slovensko seizmologijo ponovno uvrstil med enakopravne članice svetovne seizmologije.

Za začetek modernega zapisovanja potresov in izdajanja seizmoloških biltenov je zaslužen prof. dr. Vladimir Ribarič (1928–2002). Na Golovcu v Ljubljani je začel službovati leta 1954 kot asistent pri prof. dr. Franu Dominku. Od leta 1967 je Astronomsko geofizikalni observatorij tudi vodil. Med njegove pomembnejše dosežke lahko uvrščamo ustanovitev Seizmološkega zavoda SR Slovenije ki je temeljil na leta 1978 sprejetem zakonu o seizmološki službi v SR Sloveniji in je bil samostojni organ neposredno pod Izvršnim svetom SRS in pozneje (kot Seizmološki zavod Slovenije) najprej tudi neposredno pod vlado Republike Slovenije, leta 1992 pa je postal organ v sestavi Ministrstva za okolje in prostor. Ribarič je bil direktor zavoda do leta 1994, ko se je zavod preimenoval v Upravo RS za geofiziko, sam pa je odšel v pokoj dva meseca pred tem. Napisal je devet knjig, 50 znanstvenih razprav, 90 strokovnih in več kot 260 poljudnoznanstvenih člankov. Slovensko seizmologijo je dvignil na svetovno raven in kot eden vodilnih seizmologov v takratni Jugoslaviji prejel najvišje priznanje za dosežke v seizmologiji, plaketo Andrije Mohorovičiča.

Pomembna letnica je 1966, ko je uspelo slovenskim seizmologom kupiti več modernih instrumentov, predvsem kratkoperiodni Lehner-Griffith in dolgoperiodni seizmograf Sprengnether, oba ameriške izdelave. Nakup teh instrumentov je dvignil potresno opazovalnico na Golovcu na visoko kakovostno raven in jo uvrstil v svetovno standardizirano seizmografsko omrežje.

V devetdesetih letih prejšnjega stoletja se je v Sloveniji začela gradnja samostojnih avtomatskih potresnih opazovalnic. Zaradi takratnih tehničnih in tudi finančnih zmožnosti je bila edina možna rešitev za povezavo med potresnimi opazovalnicami in središčem za obdelavo podatkov (SOP) klicna telefonska linija. Potresno opazovalnico je sestavljal širokopasovni seizmometer Guralp CMG-40T, 16-bitni A/D-pretvornik z dvostopenjskim predojačevalnikom z resolucijo 130 dB (pozneje 24-bitni) s frekvenco vzorčenja 200 vzorcev na sekundo hkrati na vseh treh kanalih,



Slika 2. V prvi polovici leta 1958 so seizmologi kupili navpični kratkoperiodni seizmograf Stuttgart. Seizmograf elektromagnetnega tipa je skonstruiral znani nemški seizmolog Wilhelm Hiller. Imel je galvanometriški optični registrator z zapisom na fotografski papir. Redno je začel zapisovati potrese marca 1959 in je neprekinjeno deloval do sredine leta 1979.

Figure 2. In the first half of 1958, seismologists bought the vertical short-wave seismograph Stuttgart. The electromagnetic seismograph was constructed by the well-known German seismologist Wilhelm Hiller. It used to have a galvanometric optical recorder with the recordings made on photographic paper. It started to record earthquakes regularly in March 1959 and was continuously in operation until the middle of 1979.

za manipulacijo podatkov pa je skrbel osebni računalnik IBM z Intel procesorjem 486 z operacijskim sistemom OS/2, posebno programsko opremo in vgrajenim GPS-sprejemnikom. OS/2 je bil prvi večopravilni sistem za namizne računalnike. Omogočal je zajemanje podatkov v stvarnem času, neprekinjeno shranjevanje teh podatkov za vsaj štiri dni na lokalnem disku in manipulacijo podatkov ter vzpostavljanje povezave s klicno telefonsko linijo.

Do potresa v zg. Posočju leta 1998 je na ozemlju Slovenije delovalo sedem opazovalnic, od tega šest opremljenih z digitalnimi seizmografi, komunikacijsko povezanimi med seboj z najetimi linijami prek komunikacijske hrbtenice državnega računalniškega omrežja (HKOM), z avtomatskim prenosom podatkov in nadzorom delovanja ter konfiguriranjem instrumentov iz osrednjega računalnika na observatoriju na Golovcu. Sedma opazovalnica je bila opremljena z analognim seizmografom z zapisom s črnilom na papir, seizmogrami pa so se pošiljali v centralo v Ljubljani po pošti....

Po potresu v zg. Posočju leta 1998 se je zanimanje za seizmologijo povečalo, tako je tudi vlada sprejela sklep o posodobitvi mreže potresnih opazovalnic. Potreba po zaznavanju in lociranju tudi šibkih potresov, ki sicer ne povzročajo škode, vendar veliko povedo o seizmičnih značilnostih posameznih območij, kar pomeni natančnejše poznavanje potresne dejavnosti in nevarnosti v Sloveniji, je narekovala začetek gradnje mreže 25 potresnih opazovalnic. V prvih dveh letih po sprejetju sklepa vlade o posodobitvi mreže so bili kupljeni instrumenti, določenih je bilo tudi večina lokacij opazovalnic, po pridobitvi potrebne dokumentacije pa se je začela gradnja po-



Slika 3. Odkritje spominske plošče pionirju moderne slovenske seizmologije, prof. dr. Vladimirju Ribariču (1928-2002). (foto: Andrej Guštin)

Figure 3. The memorial plaque on the façade of the Observatory, dedicated to the pioneer of modern Slovenian seismology prof. dr. Vladimir Ribarič (1928-2002), was unveiled on 27 September 2009. (Photo: Andrej Guštin)

tresnih opazovalnic. Sedanja državna mreža potresnih opazovalnic s 25-timi opazovalnicami in rezervnim središčem za obdelavo podatkov na Golovcu, zadostuje za preliminarno obveščanje javnosti in omogoča natančno opazovanje seizmičnosti Slovenije. Naloga izboljšane mreže potresnih opazovalnic je torej hitro in natančno avtomatično lociranje potresov, določanje potresnih parametrov, avtomatično alarmiranje in obsežnejše zbiranje podatkov o potresih. Prebivalci Slovenije lahko v nekaj minutah po potresu vidijo osnovne podatke na spletnih straneh Agencije RS za okolje: <http://www.arso.gov.si/>, kjer v seznamu Bližnjice izberemo povezavo Zadnji potresi

SREČANJE UPORABNIKOV SISTEMA ZA OBDELAVO SEIZMIČNIH PODATKOV ANTELOPE

QUANTERRA AND ANTELOPE USERS GROUP MEETING

MARAKEŠ, MAROKO, 11.-13. MAREC

Jurij Pahor, Mladen Živčić

Povzetek

Uporabniki sistema za zajem in obdelavo seizmičnih podatkov Antelope se vsako leto srečujemo na nekajdnevnem posvetu, kjer se seznanimo z novostmi različic sistema, si izmenjamo uporabne izkušnje in sooblikujemo prihodnji razvoj te programske opreme. Tokratno srečanje je potekalo med 11. in 13. marcem 2009 v Marakešu, Maroko. Del srečanja je bil namenjen uporabnikom zajemalnih enot Quanterra. Po programu so se zvrstile predstavitve mrež potresnih opazovalnic držav udeležencev srečanja ter strokovna predavanja uporabnikov in snovalcev sistema Antelope. Po uradnem delu smo si ogledali potresno opazovalnico v bližini Marakeša.

Abstract

Quanterra and Antelope users group meeting has been held in Marrakech, Morocco, between 11 - 13 March 2009. The meeting has been attended by seismologists and experts from Algeria, Austria, the Czech Republic, France, Italy, Kingdom of Saudi Arabia, Kuwait, Morocco, the Netherlands, Oman, Romania, Slovenia, Spain, Switzerland and the USA. The seismologists presented recent developments at their national networks, while experts from BRTT presented the latest Antelope 4.11 package. The developing problems due to Sun's new and somewhat unclear production strategy have been addressed. In the view of Sun moving towards expensive file server products and discontinuing the production of sparc workstations, which have been the base platform for Antelope development, an alternative such as Macintosh is required. After the meeting we have visited a seismic observatory near Marrakech, in the vicinity of the popular high mountain ski resort Oukaimden.

V sredini marca 2009 smo se v Maroku zbrali seizmologi, ki pri svojem delu uporabljamo sistem za zajem in obdelavo podatkov Antelope (BRTT – Antelope Real Time System). Redna letna srečanja so namenjena izmenjavi izkušenj o uporabi programov, reševanju težav, ki nastopajo pri delu s sistemom, o predlogih za izboljšave v prihodnjih verzijah ter nenazadnje spoznavanju kolegov iz različnih držav in njihovega dela. Slednje je še kako pomembno, saj se seizmologija ne konča na državni meji in je sodelovanje s kolegi iz sosednjih držav nujno za uspešno delo.

Skupnost uporabnikov sistema Antelope združuje znanstvenike in upravjalce mrež potresnih opazovalnic iz vsega sveta. Med njimi poteka živahna izmenjava izkušenj in medsebojna pomoč pri reševanju različnih problemov, mnogi tudi razvijajo lastne programe, ki so kot prispevki dostopni na spletnem odložišču <http://www.antelopeusersgroup.org/>. Redna letna srečanja potekajo v severnoameriški, pacifiško-azijski ter v evropsko-mediteranski regiji. Zgodovina letnih srečanj v Evropi sega v leto 2000, ko je potekalo prvo v Rimu. Od takrat so se zvrstila še v Trstu, Pragi, na Dunaju ter v Ljubljani. Od samega začetka se jih redno udeležujemo tudi strokovnjaki iz Urada za seizmologijo in geologijo, sistem Antelope pa uporabljamo za upravljanje Državne mreže potresnih opazovalnic od leta 2001.

Srečanja uporabnikov sistema Antelope so od leta 2008 razširjena s srečanjem uporabnikov zajemalnih enot Quanterra, saj je ta kombinacija strojne in programske opreme dokaj razširjena pri potresnih mrežah. To je slejkoprej povezano s tem, da oboje trži podjetje Kinematics. Tokratno srečanje se je odvijalo med 11. in 13. marcem 2009 v Maroku, v zgodovinskem mestu Marakeš, nekdanjem kraljevem mestu, ki leži v bližini veličastnega gorovja Atlas.

Prvi dan srečanja so se zvrstila predavanja in razprave o zajemalnih enotah. Joe Steim, vodilni pri razvoju v podjetju Quanterra, je v štiriurnem predavanju orisal razvoj zajemalnih enot družine Q330. Enote prve generacije Q330 so bile načrtovane za delovanje ob čim manjši porabi energije, vendar na račun večjega notranjega šuma in posledično celo manjšem dinamičnem razponu, kot ga imajo na primer starejše enote Q730, ki so v uporabi v Državni mreži potresnih opazovalnic. Nadaljni razvoj je prinesel povečanje razpona s 26-bitnim digitalizatorjem pri modelu Q330HR (high resolution) ob še vedno zelo skromni potrošnji okrog 2W. Zajemalne enote druge generacije Q330HR GEN2 so najtišje doslej; njihov notranji električni šum je v frekvenčnem spektru gostote moči (PSD) pod mejo modela najmanjšega seizmičnega šuma (NLNM, Peterson 1993) do frekvenca 10 Hz. Proizvajalci trdijo, da lahko z akcelerometrom z velikim dinamičnim razponom (~150 dB) dobimo uporabne zapise tudi v kratkovalovnem delu spektra, torej opazovalnico za šibke in močne lokalne potrese. Uporabna novost je tudi izvedenka zajemalne enote brez diska, kjer se podatki lokalno hranijo na zunanjem USB ključu ter možnost kalibracije seizmometra z neodvisnim zajemanjem kalibracijskega signala in odziva seizmometra. V sodelovanju s podjetjem Streckeisen AG razvijajo nov seizmometer STS-3, z delovanjem v območju period do 120 s ter možnostjo samodejnega centriranja in samodejnega niveliranja.

Zelo zanimiv je bil prispevek Franka Vernona (UCSD) in Roberta Busbyja (IRIS) o delovanju Earth Scope Transportable Array (TA), enega od treh observatorijev zelo obsežnega znanstvenega projekta Earth Scope (<http://www.earthscope.org>), namenjenega celovitemu raziskovanju geoloških značilnosti v Združenih državah Amerike. V projekt sta vključena še mreža opazovalnic GPS (Plate Boundary Observatory) za opazovanje premikov tal in okrog tri kilometre globoka



Slika 1. Pogled iz sobe hotela, kjer je potekalo srečanje.

Figure 1. The view from the venue hotel.



Slika 2. Astronomsko-seizmološki observatorij Oukaimden.

Figure 2. Astronomical and seismological observatory in Oukaimden.

virtina v prelom Sv. Andreja (San Andreas Fault Observatory at Depth), namenjena preučevanju sestave tal in fizikalnih pogojev v območju samega preloma. Transportable Array je mreža 400 potresnih opazovalnic na medsebojni razdalji okrog 70 km. Prve opazovalnice so začeli postavljati leta 2004 v Kaliforniji in v dveh letih je bila pokrita celotna zahodna obala. Od takrat se mreža vsako leto premakne za približno 400 km proti vzhodni obali in jo bo dosegla predvidoma leta 2013. Nato bodo opazovalnice prestavili na Aljasko. Namen tega eksperimenta je poleg pridobivanja dragocenih znanstvenih podatkov tudi iskanje najboljših načinov za upravljanje velikega števila potresnih opazovalnic ter za zajemanje, arhiviranje in obdelovanje velike količine podatkov. Ravno pri prenosu podatkov iz opazovalnic do centra za obdelavo se lahko pohvalijo z odličnim izplnom, saj izgubijo le nekaj odstotkov podatkov, čeprav veliko opazovalnic napajajo sončne celice in je komunikacijska infrastruktura precej raznolika. Poleg količine podatkov je seveda pomembna tudi kvaliteta, zato so razvili vrsto orodij ter postopkov za pregledno spremljanje različnih parametrov senzorjev in zajemalnih enot, ki vplivajo na kvaliteto podatkov (<http://anf.ucsd.edu/tools/>).

V drugem delu srečanja, namenjenem uporabnikom sistema Antelope, so se najprej zvrstile predstavitve mrež potresnih opazovalnic iz držav udeležencev. Alžirsko mrežo je predstavil Toufik Allili iz Centra za raziskave astronomije, astrofizike in geofizike (Centre de Recherche en Astronomie Astrophysique et Géophysique), državno mrežo v Omanu Majid Al-Saifi iz Centra za spremljanje potresov na univerzi Sultan Qaboos, Damiano Pesaresi pa mrežo inštituta OGS.

V nadaljevanju sem (Jurij Pahor) predstavil slovensko Državno mrežo potresnih opazovalnic, Khaled Aldamegh iz Agencije za znanost Saudove Arabije (King Abdulaziz City for Science and Technology) pa saudsko potresno mrežo. Kuvajtsko mrežo je predstavil Reda Abdel-Fattah iz Inštituta za znanstvene raziskave (Kuwait Institute for Scientific Research), Estefania Blanch iz observatorija Ebro v Španiji pa namensko mini potresno mrežo v okviru projekta Castor, namenjeno spremljanju potresne dejavnosti v okolici opuščenega naftnega črpaljšča pod morskim dnom, ki ga bodo spremenili v skladišče plina. Anton Danet iz Inštituta za geofiziko v Bukarešti

je predstavil romunsko potresno mrežo in njihove načrte za nadaljni razvoj. Trenutno se ukvarjajo s postavitvijo sistema za samodejno določanje prostorske porazdelitve tresenja tal (ang. 'shakemap'). Gert-Jan Van Den Hazel je govoril o izkušnjah pri uporabi programa Antelope v okviru neprofitne evropske organizacije ORFEUS.

Z zanimanjem smo prisluhnili predstavitvi maroške potresne mreže, saj je bila kot mreža države gostiteljice tega srečanja v središču pozornosti tudi zato, ker so ravno zaključili temeljito posodobitev. Predstavitev je podal Mohamed Kasmi iz Inštituta za geofiziko (ING), ki je del nacionalnega centra za znanost in tehnologijo (CNRST). Za spremljanje potresne dejavnosti v Maroku je Inštitut za geofiziko do sedaj uporabljal 30 kratkoperiodnih seizmometrov ter 50 akcelerometrov z analognim radijskim prenosom podatkov do centrale v Rabatu, kjer je sedež inštituta. Mreža je bila razdeljena na sedem področnih mrež, kjer so se zbirali podatki z okoliških opazovalnic ter posredovali v centralo. Tam so zapise shranili na papirnate seizmogramе ter v digitalni obliki. Poleg lastnih so uporabljali podatke še iz dveh širokopasovnih digitalnih opazovalnic (prva postavljena v okviru Organizacije za spremljanje spoštovanja prepovedi jedrskih poskusov CTBTO, druga iz omrežja MEDNET) in iz polja seizmografov (ang. seismic array), postavljenem na jugu države v sodelovanju z ZDA. Inštitut je kot državna ustanova poleg raziskovalne dejavnosti odgovoren za neprekinjeno spremljanje potresne aktivnosti ter alarmiranje javnosti in uradnih služb v primeru potresa. Dosedanji sistem je deloval dobro, vendar je bil že zastarel in nezdržljiv z opremo sorodnih ustanov po svetu. V okviru prenove sistema so instalirali 20 širokopasovnih in 11 kratkoperiodnih seizmometrov z zajemalnimi enotami Q330 ter digitalnim prenosom



Slika 3. Obisk observatorija Oukaimden. Na levi je Mladen Živčić, v sredini oskrbnik observatorija Omar Ouchaou ter Jurij Pahor na desni.

Figure 3. Visit at the observatory in Oukaimden. From the left to the right are Mladen Živčić (Slovenia), observatory custodian Omar Ouchaou and Jurij Pahor (Slovenia).



Slika 4. Nakupovalna pot v starem jedru Marakeša.

Figure 4. Shopping route in the old city of Marrakech.

podatkov preko satelitskih povezav. V drugi fazi načrtujejo postavitev še 15 širokopasovnih in 10 kratkoperiodnih seizmometrov ter 40 akcelerometrov. Za obdelavo podatkov sedaj uporabljajo sistem Antelope, kar poleg lažje in hitrejše obdelave omogoča tudi enostavno izmenjavo podatkov v stvarnem času.

Srečanje so sklenili strokovnjaki, vključeni v razvoj sistema Antelope (BRTT) in nekaterih dodatnih orodij. Kent Lindquist iz podjetja Lindquist Consulting se v povezavi z sistemom Antelope ukvarja predvsem z razvojem spletnih orodij. Predstavil je organizacijo spletne strani skupnosti uporabnikov Antelope (AUG), ki jo je v poznih devetdesetih ustanovil Gary Pavlis, profesor geoloških znanosti na Univerzi Indiane, ZDA. Glavni namen spletne strani je povezovanje uporabnikov Antelope in pomoč pri koordinaciji razvoja dodatnih računalniških orodij. Iz spletne strani je dostopen javni arhiv prispevane programske opreme (ang. contributed software), ki jo različni uporabniki napišejo za lastne potrebe, lahko pa je zanimiva tudi za širši krog uporabnikov. Zadnje verzije prispevane programske opreme posreduje tudi BRTT pri vsaki novi distribuciji paketa Antelope. Spletna stran prinaša še informacije o srečanjih uporabnikov in razne dokumente v zvezi s programskimi rešitvami. Z namenom povečanja povezanosti uporabnikov so ustanovili e-poštno skupino antelope-users@brtt.com. Taimi Mulder iz Centra za upravljanje TA mreže, ki se ukvarja predvsem z analizo podatkov, je podala nekaj nasvetov za učinkovitejšo rabo nekaterih orodij iz paketa Antelope. Danny Harvey iz BRTT je opisal nekatere novosti v zadnji različici paketa Antelope 4.11, ki je izšla maja 2009. V tej različici uvajajo nov način določanja potresnih parametrov zelo oddaljenih potresov, kjer mrežo potresnih opazovalnic obravnavajo kot polje (seismic array). Ob privzetku, da je valovna fronta iz žarišča oddaljenega dogodka ravna na območju mreže, oddaljenost in smer potresa določijo z merjenjem razlik v času prihodov valovanja

na različne opazovalnice. Smer prihoda valovanja določijo neposredno iz geometrije mreže, oddaljenost pa s pomočjo funkcijske odvisnosti recipročne hitrosti (t.j. počasnost; ang. slowness) od oddaljenosti. Več nadgradenj je doživel tudi program, ki ga na Uradu za seizmologijo in geologijo uporabljamo za samodejno določanje parametrov potresov. Daniel Quinlan iz BRTT je orisal nadaljnjo strategijo razvoja programske opreme in podpore za različne operacijske sisteme. Prve različice paketa Antelope so začeli razvijati za sistem Solaris na Sun-ovih računalnikih, saj je bila to v devetdesetih zaradi zanesljivosti sistema in zaradi podpore s strani Sun-a najbolj smiselna izbira. Kasneje so razvili še različico za Suse linux, vendar je zaradi velikega števila različic linuxa podpora te verzije skoraj nemogoča. Pred časom so razvili različico za Apple Macintosh, ki bo, kot vse kaže, postala osrednja platforma za nadaljni razvoj sistema Antelope. Odločitev je v veliki meri odvisna od strategije razvoja podjetja Sun, ki se trenutno nagiba bolj v smeri dragih podatkovnih strežnikov, ki niso najbolj primerni za računsko zahtevne operacije sistema Antelope.

Po skupnem delu srečanja smo obiskali potresno opazovalnico v kraju Oukaimden, ki leži ob priljubljenem smučarskem letovišču na višini 2720 m. Pot do opazovalnice se vije med naselbinami avtohtonih prebivalcev Berberov, ki živijo predvsem v hribih, kjer se preživljajo z živinorejo in rokodelstvom. V opazovalnici, kjer se nahaja tudi astronomski observatorij, je stalno nameščen oskrbnik Omar Ouchaou, ki nas je prijazno sprejel in nam razkazal poslopje ter okolico. Seizmometer je postavljen v jašku ob glavni stavbi, čisto na robu grebena, takoj zraven pa se že spušča strmo pobočje. Ob jasnih dneh seže pogled preko Marakeša vse do Atlantskega oceana.



Slika 5. Domačini imajo najraje 'slow-food'.

Figure 5. The locals prefer slow-food.

Kraj srečanja, slikoviti Marakeš, je odlično zaokrožil letošnje srečanje, še posebej za tiste udeležence, ki smo prišli iz zimsko »razpoloženih« krajev. Prijetnih petindvajset stopinj je bilo ravno pravšnjih za lagodno prebivanje skozi mestni vrvež starega mestnega jedra, ki se mu v arabskem svetu reče Medina. Kot vsa stara arabska mesta je ograjeno z visokim obzidjem, za katerim se skriva nepregleden labirint ozkih ulic z vhodi hiš, ki nemo branijo prebivalce pred hrupom zunanega sveta. Oken, ki bi gledala na ulico, skoraj ni, saj je v značilni arhitekturi vsaka družinska hiša, imenovana riad, svet zase in zagotavlja njenim prebivalcem popolno intimnost. Vrata in portali hiš so nevsiljivi in ne razkrivajo statusnega položaja prebivalcev. Vmes so pomešane trgovinice kot majhne sobe, z eno stranjo odprte proti ulici, ki ponujajo jestvine za domačine ali pa različne izdelke domače obrti za turiste. Med številnimi trgovci ni opaziti nevoščljivosti ali kake tekmovalnosti. Videti je, kot da med seboj sodelujejo v skupni nalogi kar najbolj obrati nevednega obiskovalca. Prodati mnogokrat preplačan artikel ali pa samo uslugo je njihov način življenja in vsak tak uspešen posel privabi na obraz trgovca širok zmagoslaven nasmeh. Kupec si mora ceno vedno izpogajati in tudi, če je številka na koncu za petkrat manjša, je posel po vsej verjetnosti še vedno v škodo kupca. S tem si pač ne kaže beliti glave. Ulice so zelo prometne, tudi po najožjih se med pešci podijo motoristi z vrtoglavo hitrostjo, a se vedno pravočasno ustavijo. Prvi vtis je, kakor da bi se znašli v popolnem kaosu, vendar se na ta vrvež hitro navadiš in se v njem celo počutiš varno. Srce starega mesta je trg Djemaa el Fna, ki je med največjimi in najživahnejšimi v Afriki, kjer preko dneva kraljujejo prodajalci sadja, zelenjave in začimb ter različni artisti privabljajo radovedne množice, zvečer pa se preobrazi v veliko tržnico s hrano. Maroko s svojim živahnim utripom, pa vendar z lagodnim tempom življenja, obiskovalca prevzame in zapelje.

Okrajšave

AUG - Antelope Users Group, prvotna spletna stran <http://www.indiana.edu/~aug>, od leta 2008 nova stran <http://www.antelopeusersgroup.org>

CNRST - Centre National pour la Recherche Scientifique et Technique, <http://www.cnr.ac.ma>

CTBTO - Comprehensive Nuclear-Test-Ban Treaty Organization, <http://www.ctbto.org/>

ING - Institut National de Géophysique, <http://sismo-lag.cnrst.ma/>

IRIS - Incorporated Research Institutions for Seismology, <http://www.iris.edu/hq/>

MEDNET - Mediterrean Very Broadband Seismographic Network, <http://mednet.rm.ingv.it/>

OGS - Istituto Nazionale di Oceanografia e di Geofisica Sperimentale, <http://www.ogs.trieste.it/>

ORFEUS - Observatories and Research Facilities for European Seismology,
<http://www.orfeus-eu.org/>

UCSD - University of California, San Diego, <http://www.ucsd.edu/>

Literatura

BRTT - Boulder Real Time Technologies, inc.(online). 2005. (citirano 27.7.2009). Antelope Real Time System. Dostopno na naslovu: <http://www.brnt.com/>

Peterson, J., 1993. Observations and modelling of background seismic noise.

Open-file report 93-322, U. S. Geological Survey, Albuquerque, New Mexico.



MEDNARODNA KONFERENCA O POTRESNEM INŽENIRSTVU INTERNATIONAL CONFERENCE ON EARTHQUAKE ENGINEERING

BANJA LUKA, BOSNA IN HERCEGOVINA, 26. -28. OKTOBER 2009

Peter Sinčič

Povzetek

Ob 40- obletnici katastrofalnega potresa v Banja Luki je od 26. do 28. oktobra potekala mednarodna konferenca o potresnem inženirstvu, na kateri je bilo predstavljeno 82 predavanj s področij seizmologije, potresnega inženirstva in inženirske seizmologije. Konferenci je prisostvovalo 350 udeležencev, predstavljena predavanja pa so bila objavljena v treh knjigah.

Abstract

The International Conference on Earthquake Engineering, held at Banja Luka, from October 26-28, 2009, on the occasion of 40th anniversary of the disastrous Banja Luka earthquake, at which 82 lectures on earthquake engineering, seismology and engineering seismology were delivered. About 350 participants took part at the conference. The lectures delivered by the participants were published in three books

27. oktobra 1969 ob 8. uri in 11 minut po svetovnem času (UTC) oz. eno uro kasneje po lokalnem je nastal močan potres na območju mesta Banja Luke (slika 1). Imel je magnitudo 6,6, dosegel pa je največje učinke IX. stopnje po lestvici MSK, kar lahko prevedemo v približno enako stopnjo po Evropski potresni lestvici (EMS). Žarišče je nastalo v globini 25 km.

Zanimivo je, da je glavnemu potresu predhodil potres 26. oktobra ob 15. uri in 36 minut oz. eno uro kasneje po lokalnem času z magnitudo 5,6 in največjo intenziteto VIII. stopnje po EMS. Globina žarišča je bila 15 km. Ta potres je imel skoraj enake značilnosti kot potres 12. aprila 1998 z žariščem v zgornjem Posočju, bil je le nekoliko globlji. Sledil je še močan potres ob 2. uri in 55 minut UTC oz. uro kasneje po lokalnem času z magnitudo 4,8 in največjimi učinki VII. stopnje po lestvici EMS in globino žarišča 10 km, tla pa so se skoraj neprestano tresla vse do jutranjih ur, dokler se ni kmalu po osmi uri, ob namočnejšem rušilnem potresu, čas v Banja Luki ustavil.

Ob 40-obletnici katastrofalnega potresa je potekala konferenca, z namenom povzeti znanje in izkušnje ter nov razvoj na področju potresnega inženirstva ne samo na območju Balkana, temveč tudi v svetovnem merilu. Konferenca sva se udeležila Renato Vidrih in Peter Sinčič. Teme, obravnavane na konferenci so bile:

- seizmičnost na območju Banja Luke in okolice,
- seizmičnost Balkanskega polotoka,
- seismotektonika, potresna nevarnost, ranljivost in ogroženost,
- socialni in ekonomski vidik, dolgoročno planiranje in primerni postopki pri zaščiti prebivalcev in premoženja ob potresih,
- potresno inženirstvo, načrtovanje in konstruiranje zgradb in drugih objektov na potresno aktivnih območjih z upoštevanjem predpisa Eurocode 8,
- sodobni trendi v inženirski seizmologiji, nove tehnologije, nadzorovanje objektov in podlage, teoretične in eksperimentalne raziskave,
- ocenjevanje obstoječih objektov, stabilnost, obnova in seizmično ojačenje, s poudarkom na objektih kulturne in zgodovinske dediščine.



Slika 1. Deli zgradb so se zrušili in zasuli mestne ulice v Banja Luki.
Figure 1. Parts of buildings collapsed and buried streets in Banja Luka.



Slika 2. Obisk seizmologov (seizmologinj) na potresni opazovalnici v Banja Luki.
Figure 2. Visiting seismologists at seismic station in Banja Luka.

V predavanju *New Seismic Network in Slovenia* sva predstavila kvaliteto delovanja državne mreže potresnih opazovalnic, izpade zaradi tehničnih razlogov in izgubo podatkov ter izboljšave. V predavanju *Osmatranje seizmičnosti na področju velikih brana u Sloveniji* pa sva predstavila Pravilnik o opazovanju seizmičnosti na območju velike pregrade in njegovo implementacijo pri uvajanju seizmološkega monitoringa velikih pregrad v Sloveniji.

S predstavniki proizvajalcev seizmološke opreme sva se pogovarjala o novostih na področju seizmoloških merilnih sistemov, saj imajo aparature za zajem podatkov na opazovalnicah državne mreže za seboj že slabo desetletje delovanja in bo ob morebitnih okvarah potrebno poskrbeti za primerno zamenjavo.

Obiskala sva tudi Seizmološko postajo v Banja Luki, kjer deluje Sektor za seizmologijo v okviru Hidrometeorološkega inštituta (slika 2). Seznanila sva se z njihovo mrežo potresnih opazovalnic, ki jo trenutno sestavljajo opazovalnice v Trebinju, Han Pijesku, Mrakovici in Doboju ter opazovalnica v Banja Luki, ki sodi v omrežje MEDNET. Načrtujejo še gradnjo 11 novih opazovalnic za katere opremo že imajo, problem pa jim povzroča zagotovitev zanesljivih povezav za prenos podatkov. Za potrebe svoje seizmološke službe uporabljajo podatke štirih naših opazovalnic (LJU, CEY, CRES in KOGS). Ko bodo zagotovili prenos podatkov, bomo imeli tudi mi možnost uporabe podatkov njihovih opazovalnic za naše analize.